

# Onderzoek naar factoren en processen die de productie en kwaliteit van witlof beïnvloeden

eindverslag project 729

J.A. Reerink

Bijlatcheek A2-DLO  
Buitendijk 65  
Postbus 14  
6700 AA Wageningen

**cabo-dlo**

272036

Het DLO-Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO) is onderdeel van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij.

DLO heeft tot taak het genereren van kennis en het ontwikkelen van expertise ten behoeve van de uitvoering van de landbouwpolitiek van de Nederlandse regering, het versterken van de agrarische industrie, het plannen en beheren van het landelijk gebied en het beschermen van het milieu. CABO-DLO heeft tot taak het verrichten van fundamenteel-strategisch, zowel experimenteel als modelmatig, onderzoek aan planten. De resultaten hiervan dragen bij aan de realisatie van:

- optimale en duurzame plantaardige produktiesystemen;
- produktvernieuwing en produktkwaliteit;
- natuurwaarden en milieukwaliteit in het landelijk gebied.

**Adres:**

CABO-DLO

Postbus 14

6700 AA Wageningen

tel. 08370-75700

fax. 08370-23110

e-mail [postkamer@cabo.agro.nl](mailto:postkamer@cabo.agro.nl)

## **Verantwoording**

Het hier beschreven onderzoek is uitgevoerd bij het CABO-DLO en medegefinancierd door drie partners uit het bedrijfsleven: Landbouwschap, Produktschap voor Groenten en Fruit, en Centraal Bureau voor de Tuinbouwveilingen. Tijdens de uitvoering van het project is op diverse manieren samengewerkt met het PAGV en regelmatig gerapporteerd aan- en overleg geweest met de begeleidingscommissie van dit project.

In het rapport wordt een zo compleet mogelijk beeld geschetst van de inhoud van het witlofonderzoek dat van juni 1988 tot juni 1992 bij het CABO-DLO is uitgevoerd.

Voor de voornaamste resultaten en de aanbevelingen voor het praktijkonderzoek en de witlofteelt is het eerste deel: "Samenvatting en Aanbevelingen" het meest relevant. Dit deel kan ook afzonderlijk gelezen worden.

Een gedetailleerd beeld van de opzet van de proeven en de resultaten is opgenomen in de hoofdstukken 2 t/m 4. Hoofdstuk 2 geeft een beeld van de gebruikte methoden, de proefopstelling en de doelstelling van de achtereenvolgende proeven. Hoofdstuk 3 geeft per proef een complete beschrijving van de verkregen gegevens. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten uit de diverse proeven bijeengebracht en de conclusies hieruit getrokken. De basisgegevens zijn opgenomen in een database.

Deze opzet heeft het mogelijk gemaakt de relevante gegevens en de resultaten op een toegankelijke manier vast te leggen voor verder gebruik in publikaties en voor vervolgonderzoek. Ook wordt hiermee een basis gelegd voor uit dit onderzoek voortvloeiend en aanvullend praktijkonderzoek.

De belangstelling die vanuit de NTS-witlof commissie op verschillende momenten voor het onderzoek is getoond is als zeer stimulerend ervaren. De koppeling met het praktijkonderzoek en het bedrijfsleven is een belangrijke factor geweest bij het stellen van prioriteiten. Tegen die achtergrond is het verheugend te constateren dat ook in meer fundamenteel-wetenschappelijk opzicht nieuwe inzichten zijn ontstaan.

Het onderzoek heeft echter door de complexiteit van het onderwerp niet in alle opzichten tot eenduidige antwoorden kunnen leiden. Daarop wordt in de aanbevelingen met enkele suggesties voor vervolgonderzoek ingegaan.

dr. S.C. van de Geijn  
Hoofd afd. Plantenfysiologie.

# Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting en aanbevelingen	1
A. Samenvatting	1
1. Groeisnelheid van de krop, temperatuur en bewaarduur.	1
2. Stikstofgehalte van de wortels	2
3. Concentratie van de voedingsoplossing en wortelmaat	2
4. Stikstofopname uit de voedingsoplossing	3
5. Mobilisatie van reserve suikers	3
6. Benutting van reservesuikers uit de wortel	3
7. Samenstelling en visuele kenmerken van de krop	4
8. Mineralen huishouding	4
9. Vergelijking met wortels afkomstig van diverse telers	5
10. Vergelijking van diverse rassen en teeltlocaties	5
B. Aanbevelingen	6
1. Aanbevelingen voor het stikstofgehalte van de wortel	6
2. Toetsing van de resultaten en stuurbaarheid van forceerresultaat	6
3. Proeven met wortelmateriaal uit de praktijk	6
4. Bepalingen van basisgegevens in partijen wortels	6
5. Kwaliteit van proefmateriaal	6
6. Samenstelling voedingsoplossing	7
7. Samenstelling van de krop	7
8. Rol van groeipunt en groeipuntontwikkeling	7
1. Inleiding	9
1.1. Algemeen	9
1.2. Problematiek en Onderzoeksopzet	9
1.3. Doel van het onderzoek	10
2. Uitvoering van de experimenten	11
2.1. Algemene proefbeschrijving	11
Wortelteelt	11
Voorbehandeling	11
Forceeropstelling	11
Forceercondities	12
Oogst	13
Analyses	13
Bewerkingen	14
2.2. Schematische beschrijving afzonderlijke experimenten	16

3. Resultaten van de experimenten	19
3.1. Invloed van de wortelmaat en de sterkte van de voedingsoplossing op de kropproductie (experiment 1)	19
3.2. Invloed van de wortelmaat en de concentratie van de voedingsoplossing op de kropproductie en kropvorm gedurende forceren (experiment 2)	21
3.3. Invloed van de forceertemperatuur en de concentratie van de voedingsoplossing op de kropproductie en kropvorm gedurende een lange periode van forceren (experiment 3)	26
3.4. Invloed van het stikstofgehalte van de wortel, de bewaarduur, de forceertemperatuur, en de concentratie van de voedingsoplossing op de kropproductie en -kwaliteit (experiment 4 & 5)	29
3.4.1. Kropproductie	30
3.4.2. Drogestofredistributie	32
3.4.3. Stikstofredistributie	35
3.4.4. Koolhydraatmetabolisme	43
Krop	48
3.4.5. Kropvorm en andere visuele kwaliteitsaspecten	51
3.5. Invloed van de concentratieverhouding van kalium en calcium in de voedingsoplossing op de opname van mineralen, de drogestofredistributie en de kropproductie en -kwaliteit van grote en kleine wortels (experiment 6)	57
3.5.1. Kropproductie	59
3.5.2. Drogestofredistributie	60
3.5.3. Stikstofredistributie	62
3.5.4. Kaliumredistributie	64
3.5.5. Calciumredistributie	66
3.5.6. Kropvorm en andere visuele kwaliteitsaspecten	68
Kropvorm	68
Pitlengte	70
Bruine pit	71
3.6. Invloed van het stikstofgehalte van grote en kleine wortels, de bewaarduur, de forceertemperatuur en de concentratie van de voedingsoplossing op de kropproductie en -kwaliteit (experiment 7 & 8)	74
3.6.1. Kropproductie	76
3.6.2. Drogestofredistributie	78
3.6.3. Stikstofredistributie	82
3.6.4. Kaliumredistributie	90
3.6.5. Calciumredistributie	96
3.6.6. Kropvorm en andere visuele kwaliteitsaspecten	101
Kropvorm	101
Pitlengte	104
Bruine pit	105

3.7. Aandeel van stele en cortex in de redistributie van drogestof en stikstof uit grote en kleine wortels met een variërend stikstofgehalte, de invloed van de concentratie van de voedingsoplossing en het effect op de produktie en samenstelling van pit en blad van de krop (experiment 9 & 10)	107
3.8. Forceer-experimenten met 'Flash' wortels die variëren in stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van Nederland	115
3.8.1. Het 1e experiment met wortels van verschillende praktijkherkomst - eind 1990	116
3.8.2. Het 2e experiment met wortels van verschillende praktijkherkomst - 1991/92	120
4. Conclusies en discussie	127
4.1. Algemeen	127
4.2. De kropgroei - versestof versus drogestof	128
Externe factoren	129
Interne factoren	130
4.3. De redistributie van drogestof	133
Stikstofgehalte	134
Wortelmaat	136
4.4. De conversies van de drogestof	138
Koolhydraten	138
Stikstof	139
Andere bestanddelen van de drogestof	140
4.5. De invloed van de voedingsoplossing	141
Wortelmaat	142
Stikstof	142
Kalium	143
Calcium	145
Krop	146
4.6. De visuele kwaliteitskenmerken	148
Geslotenheid krop	148
Kropvorm (kort/lang)	149
Pitlengte	149
Bruine pit	150
4.7. Kropkwaliteit en -klassen in de praktijk	151
Literatuur	153
Dankwoord	
Bijlage 1: Hoagland voedingsoplossing	1 p.
Bijlage 2: volledige Figuur 3.2.4	1 p.

# Samenvatting en aanbevelingen

## A. Samenvatting

Het onderzoek dat in de periode juni 1988 tot juni 1992 bij het CABO-DLO is uitgevoerd is voortgekomen uit de wens vanuit het praktijkonderzoek om een betere inzicht te verkrijgen in de achtergronden van de witloftrek. Het onderzoek is daarom basislegend van aard, en gericht op het verloop van de processen in de wortel en de groeiende krop tijdens de koude bewaring en het forceren van de witlof. Daarbij is aandacht gegeven aan de eigenschappen van het uitgangsmateriaal (de wortel), effecten van bewaarduur, forceerduur en -temperatuur, en samenstelling van de voedingsoplossing.

De processen die zijn bestudeerd betreffen:

- (1) omzetting van de reserve koolhydraten (inuline) en eiwitten in de wortel, tijdens de koude bewaring en het forceren;
- (2) aanwezige concentraties en het transport van suikers en aminozuren tijdens de kropvorming;
- (3) mobilisatie van mineralen (N, K, Ca) uit de wortel naar de krop en opname uit de voedingsoplossing;
- (4) gewichtsafname van de wortel en gelijktijdige groei van de krop;
- (5) vorm en inwendige, zichtbare, kwaliteitskenmerken.

Na een aanloopfase heeft het hoofdaccent van het onderzoek gelegen op het vaststellen van het verband van het stikstofgehalte van de wortel met de diverse bovengenoemde processen.

De proeven zijn uitgevoerd met wortels van het ras 'Flash', en door het PAGV geteeld met een bemestingsschema gericht op het verkrijgen van uniform uitgangsmateriaal, met als proeffactor de stikstofbemesting. Over het algemeen zijn op grootte geselecteerde wortels gebruikt. In enkele latere proeven is samen met het PAGV gebruik gemaakt van wortels die van ROC's en praktijkbedrijven afkomstig waren. Dit betrof proeven waarin de bevindingen uit de gedetailleerde experimenten bij het CABO-DLO vergeleken werden met materiaal uit de praktijk.

De voornaamste resultaten van het onderzoek worden hieronder kort aangeduid. Een gedetailleerde beschrijving van de resultaten en conclusies wordt in hoofdstuk 3 en 4 gegeven.

### *1. Groeisnelheid van de krop, temperatuur en bewaarduur.*

De snelheid van groei van de krop blijkt sterk afhankelijk te zijn van de hoeveelheid beschikbare suikers die aan het einde van de koude bewaring in transporteerbare vorm (als sacharose) aanwezig is, en de snelheid waarmee deze aanvullend beschikbaar komt tijdens het forceren. Bewaarduur, forceertemperatuur en stikstofgehalte van de wortel spelen hierbij een belangrijke rol.

Een verlaging van de forceertemperatuur vertraagt de kropgroei, maar resulteert in een vrijwel gelijke kropproductie in een langere tijd. De kropgroei van grote en kleine wortels gaat eerst gelijk op, maar stopt voor kleine wortels eerder, als gevolg van een beperkte beschikbaarheid van suikers. De wortelmaat heeft zo invloed op de grootte van de geproduceerde krop. Elke extra 10 gram worteldrogestof levert ca 2,5 gram extra kropdrogestof, of 30 tot 50 gram versgewicht. Opvallend is dat aan het einde van de forceerperiode nog altijd ca

50% van de oorspronkelijk aanwezige opslag-koolhydraten in de wortel aanwezig is, onafhankelijk van de maat.

Uit de gedetailleerde proeven bleek dat de in de praktijk gebruikelijke geleidelijke verlaging van de forceertemperatuur bij toenemende duur van de koude bewaring voor de koolhydraten niet altijd leidt tot een goede compensatie van de veranderde processnelheden. Uit de resultaten blijkt dat de geleidelijke verlaging van de temperatuur afhankelijk gemaakt zou moeten worden van het stikstofgehalte van de wortels. Dit stikstofgehalte varieerde in de gebruikte wortels van 4 tot 10 mg N per gram drogestof, maar kan in de praktijkteelt nog aanmerkelijk hoger liggen. Voor stikstofrijke wortels moet de temperatuur in de loop van het seizoen in principe sneller en verder verlaagd worden dan voor stikstofarme wortels. Dit geldt niet voor het transport van stikstof (aminozuren en eiwitten) naar de krop. Dit laat zich bij alle gehalten met eenzelfde (bewaarduuraafhankelijke) temperatuursverlaging compenseren.

## *2. Stikstofgehalte van de wortels*

Het stikstofgehalte van de wortels is een belangrijke factor tijdens het forceren. In de door het PAGV geteelde wortels liep het gehalte uiteen van ca 4 tot 10 mg N/gram drogestof. In de praktijk blijken de lage waarden zelden voor te komen, en wordt de hier gebruikte hoogste concentratie regelmatig overschreden. Stikstofrijke wortels blijken geen andere maatverdeling te hebben, maar de samenstelling van de drogestof verschilt wel. Zo is het koolhydraatgehalte van N-rijke wortels aanmerkelijk lager dan van N-arme wortels (65% tegen 85%). De hoeveelheid sacharose in de wortel blijkt echter na koude bewaring ondanks een lager totaal koolhydraatgehalte hoger te zijn, waardoor de kropgroei sneller verloopt. De component "overige drogestof" van de wortel, structureel materiaal naast eiwitten en koolhydraten, is relatief hoog. Wortels met een relatief hoog stikstofgehalte zijn na korte koude bewaring beter geschikt voor forceren dan stikstofarme wortels.

## *3. Concentratie van de voedingsoplossing en wortelmaat*

De concentratie van de gebruikte voedingsoplossing blijkt pas na ca 15 dagen forceren van belang. Het drooggewicht van de krop stijgt en het drogestofgehalte daalt met toenemende concentratie. Grote wortels profiteren daarbij het meest van een wat hogere concentratie, waarbij het verschil in versgewicht van de krop tussen leidingwater en volledige Hoagland-oplossing oploopt tot ca 60%, overigens bij een veel geringer verschil in drooggewicht. Bovendien blijkt dat de toename van het drooggewicht in de tijd eerder terugvalt dan die van het versgewicht. Tegen het einde van de forceerperiode is het drooggewicht constant geworden, maar blijft het versgewicht nog stijgen. Dit betekent dat het drogestofgehalte van de krop dan daalt. De grootste kropproductie werd vrijwel steeds bereikt met  $\frac{1}{4}$  tot  $\frac{1}{2}$  concentratie Hoagland. Dit komt overeen met een nitraatconcentratie van 4 - 8 mmol/l. De lengte van de pit blijkt bij deze concentratie ook de gunstigste verhouding te hebben tot de krop lengte. De krop blijft ook wat beter gesloten bij deze lagere concentraties van de voedingsoplossing.

Kleine wortels (< 40 gram drooggewicht; ca 4 cm diameter) blijken voor wat de productie betreft het sterkst beperkt te worden door beschikbaarheid van koolhydraten. Voor grote wortels geldt juist de beschikbaarheid van mineralen (N, K, Ca etc.) als beperkend. De laatsten profiteren daarom het meest van een goede voedingsoplossing.



#### *4. Stikstofopname uit de voedingsoplossing*

De herverdeling van eiwitten uit de wortel naar de krop is recht evenredig met het stikstofgehalte van de wortel. De beschikbaarheid van eiwitten en aminozuren voor transport neemt voor alle wortels toe met de duur van de koude bewaring, en met de forceertemperatuur. Een geringere beschikbaarheid van transporteerbare eiwitten na korte koude bewaring kan volledig worden gecompenseerd door een verhoging van de forceertemperatuur. De bijdrage van stikstof uit de voedingsoplossing aan het stikstofvoorziening van de groeiende krop is in de meeste gevallen beperkt. Bij lage stikstofgehalten van de wortel is de per gram wortel opgenomen stikstof echter groter dan bij stikstofrijke wortels. De opname compenseert dus in meerdere of mindere mate de beperkte beschikbaarheid van stikstof uit de wortel. Voor wortels met een laag N-gehalte is de bijdrage ten hoogste ca 45%. Voor N-rijke wortels daalt dit tot 5 - 10%.

#### *5. Mobilisatie van reserve suikers*

Voor het transport van de reserve koolhydraten uit de wortel moeten deze eerst omgezet worden in transporteerbare vorm, in sacharose. Het sacharose gehalte van de wortel blijkt een goede maat te zijn voor de mobilisatie na koude bewaring. Na 5 weken koude bewaring is de mobilisatie van koolhydraten uit wortels met een N-gehalte van 10 mg per gram ca anderhalf maal groter dan uit wortels met een N-gehalte van 4 mg per gram. Na 15 weken bewaring is dit verschil toegenomen tot een factor  $2^{1/2}$ . De veranderingen in de opgeslagen koolhydraten in de wortel zijn dus sterk afhankelijk van het N-gehalte. De snelheid waarmee de omzetting van koolhydraten verloopt tijdens het forceren is wel sterk afhankelijk van de temperatuur, maar hangt bovendien af van het stikstofgehalte. Een vaste temperatuursaanpassing kan dus niet zonder meer gebruikt worden om het verschil ten gevolge van lange koude bewaring te compenseren (zie onder 1 hierboven). Een grotere temperatuursverlaging is nodig bij hoge stikstofgehalten van de wortel.

#### *6. Benutting van reservesuikers uit de wortel*

De gemobiliseerde suikers, aminozuren en mineralen worden naar de krop getransporteerd, en vormen, na de nodige omzettingen aldaar, de kropdrogestof. De efficiëntie waarmee dit gebeurt, het gevormde kropgewicht per hoeveelheid verloren wortelgewicht, neemt sterk af met toenemend stikstofgehalte. Dit effect wordt nog sterker na langer bewaren van de wortels, maar is onafhankelijk van de forceertemperatuur. Het gevolg hiervan is dat de koolhydraten van de stikstofrijke wortels weliswaar sneller en in groter hoeveelheden beschikbaar komen en transporteerbaar zijn, maar dat veel hiervan verloren gaat of anderszins verbruikt wordt. Dit leidt ertoe dat het optimale N-gehalte van de wortel bij ongeveer 6 mg N per g drogestof ligt (ca 3,75% eiwit). Dit neemt niet weg dat ondanks dit slechter rendement de gevormde kropdrogestof, en nog meer het versgewicht, bij stikstofrijke wortels nog altijd wat groter is dan bij stikstofarme.

De gevonden verschillen in rendement met N-gehalte, en het verloop hiervan in de tijd vormen een intrigerend onderwerp voor verdere analyse van kosten van transport, biosynthese en onderhoud van plantaardige weefsels.

### *7. Samenstelling en visuele kenmerken van de krop*

Het eiwitgehalte van de gevormde krop neemt toe met het eiwitgehalte van de wortel. Gelijktijdig is het gehalte aan vrije koolhydraten (suikers) lager, ondanks de grotere mobilisatie. Ook het drogestofgehalte is lager. Het is niet vastgesteld of de met het stikstofgehalte veranderde samenstelling van de krop, met meer structureel materiaal, leidt tot organoleptische verschillen in kwaliteit.

Een aantal visuele kenmerken van wortel en krop zijn met behulp van een grafisch software pakket vastgesteld. Deze kwaliteitskenmerken blijken ook afhankelijk te zijn van het N-gehalte. Zo neemt het volume van de wortelholte direct onder de krop, gemeten na afloop van de forceerperiode, toe met het N-gehalte. Het effect van bewaarduur en forceertemperatuur is gering, wat betekent dat de holte voornamelijk al tijdens de teelt gevormd wordt. Belangrijker zijn pit en vorm van de krop. De mate waarin een "open krop" voorkomt neemt toe met het stikstofgehalte van de wortel. Een lange koude bewaring of een hogere forceertemperatuur leiden tot een betere geslotenheid van de krop, zowel bij stikstofrijke als stikstofarme wortels.

De relatieve pitlengte (t.o.v. de kroplengte) is na korte bewaring slechts weinig afhankelijk van het N-gehalte. Bij een lange bewaarduur is een tendens waarneembaar tot een toename hiervan met het N-gehalte. De relatieve pitlengte neemt wel sterk toe met zowel bewaarduur als forceertemperatuur. De pitgrootte, het oppervlak van de lengtedoorsnede, neemt duidelijk toe met het stikstofgehalte van de wortel. De invloed van de bewaarduur is gering, maar met de forceertemperatuur neemt ook de absolute pitgrootte sterk toe. De invloed van de forceertemperatuur neemt wat af na lange koude bewaring.

Het aantal kroppen waarin bruine pit voorkomt neemt sterk toe met N-gehalte van de wortel. Ook een hogere forceertemperatuur of een langere koude bewaring van wortels verhoogt het optreden van bruine pit. Bij ongeveer gelijkblijvend oppervlak per bruine plek neemt het aantal plekken per pit sterk toe. De gevonden relatie geldt dus nog sterker voor het bruinverkleurde oppervlak van de pit dat waargenomen wordt.

### *8. Mineralen huishouding*

De kalium die in de krop wordt aangetroffen is voor het overgrote deel afkomstig uit de wortel, en veel minder van recente wortelopname. Deze kalium remobilisatie verloopt parallel aan de kropgroei, waardoor het gehalte in de krop constant blijft. Calcium blijkt netto niet uit de wortel getransporteerd te worden, zodat de calcium aanvoer afhankelijk is van de opname uit de voedingsoplossing. In de eerste fase van kropgroei is de opname echter gering, en blijft achter bij de kropgroei. Pas tegen het einde van de forceerperiode neemt de calciumopname duidelijk toe. Hoewel in dit onderzoek niet aangetoond, wijzen gegevens in de literatuur erop dat het optreden van bruine pit hiermee samenhangt. Het gedrag van de mineralen K en Ca tijdens de forceerperiode verdient nadere aandacht. Het is te verwachten dat een beter inzicht in de waterbeweging in het wortel-krop systeem voor een goede interpretatie, en inzicht in mogelijke oplossingsrichtingen voor gerelateerde kwaliteitsproblemen noodzakelijk zal zijn.

### *9. Vergelijking met wortels afkomstig van diverse telers*

De verkregen inzichten zijn in een twee praktijkexperiment samen met het PAGV getoetst. Van een groot aantal witloftelers uit diverse delen van het land zijn partijen wortels van 'Flash' betrokken, geanalyseerd op stikstofgehalte, en na een korte (1/2 of 1 week) of langere (7 weken; 2<sup>e</sup> experiment) koude bewaring onder standaardcondities bij het PAGV geforceerd. In het eerste experiment moest de trek na een langere bewaring vervallen, omdat onvolgende materiaal bij de telers achtergehouden was. Het stikstofgehalte bleek in de praktijkproef (21 telers) nog hoger te liggen (8 - 14 mg N per gram drogestof) dan bij de wortels uit de PAGV-bemestingsproeven, en lage, of als optimaal beschouwde waarden kwamen niet voor.

Bij deze proef bleek niet zozeer de kropproductie, maar vooral de kwaliteit sterk uiteen te lopen. Het aandeel van de produktie in klasse I lag bij de laagste N-gehalten tussen 50 en 90%, terwijl het bij de hoogste gehalten tussen 20 en 60% varieerde. Nog sterker komt dit verschil naar voren bij het aandeel klasse III: dit was bij de "laagste" N-gehalten nooit hoger dan 10%, maar bij de hoogste liep dit op tot 25%.

Er bleek geen aantoonbare relatie te zijn tussen het drogestof gehalte van de wortels, dat varieerde met het stikstofgehalte, en de kropproductie en -kwaliteit.

De praktijktoets toont aan dat het stikstofgehalte weliswaar een zeer belangrijke factor is bij het tot stand komen van goede kwaliteit witlof, maar dat het zeker niet de enige, en volledige verklaring geeft voor de mate van succes van de witlofteelt.

### *10. Vergelijking van diverse rassen en teeltlocaties*

In de proeven die tot de hier besproken resultaten hebben geleid is steeds van het ras 'Flash' gebruik gemaakt. Om de waarde van de verkregen resultaten te toetsen met andere rassen is in 1991 een vergelijkende proef uitgevoerd, waarvan de analyses zijn verricht, maar een volledige verwerking samen met de forceerresultaten en overige gegevens nog niet beschikbaar is. Een soortgelijke situatie bestaat voor de gegevens van een vergelijking van wortels met gelijk stikstofgehalte maar afkomstig van twee locaties: resp. Creil en Westmaas. In overleg met ir. Van Kruistum (PAGV) zal aan de uitwerking nog aandacht worden besteed.

## B. Aanbevelingen

### 1. Aanbevelingen voor het stikstofgehalte van de wortel

Vooruitlopend op de verificatie van de verkregen resultaten in het praktijkonderzoek moet de aanbeveling naar de praktijk zijn dat hoge stikstofgehalten dienen te worden vermeden. Een optimale concentratie ligt tussen 6 en 9 mg N per g drogestof wortel. Boven deze concentratie neemt (in elk geval voor 'Flash') de efficiëntie van worteldrogestof benutting voor kropvorming te sterk af, en nemen negatieve kwaliteitskenmerken zoals bruine pit, open krop en dergelijke sterk toe. Partijen wortels met een hoog stikstofgehalte (binnen deze range) zijn beter geschikt voor forceren na een korte koude bewaring.

### 2. Toetsing van de resultaten en stuurbaarheid van forceerresultaat

Het onderzoek heeft aangetoond dat voor het bestudeerde ras 'Flash' en de wortels betrokken van het PAGV grote verschillen bestaan in de forceerresultaten, die in verband gebracht kunnen worden met het N-gehalte. De verkregen resultaten zullen verder op hun waarde voor het praktijkonderzoek moeten worden getoetst. Ten gevolge van een onverwacht hoge mineralisatie in de bodem kon in het seizoen 1991 niet over wortels worden beschikt met de gewenste brede range in stikstofgehalten. De experimenten die voorzien waren om de stuurbaarheid van het forceerresultaat op grond van verkregen inzichten te toetsen konden daarom geen doorgang vinden. Bezien moet worden of in samenspraak met het praktijkonderzoek hiervoor alsnog voldoende gegevens verzameld kunnen worden.

### 3. Proeven met wortelmateriaal uit de praktijk

Het is aan te bevelen proeven, zoals deze in de eindfase van het project zijn uitgevoerd met partijen wortels van praktijktelers, in het praktijkonderzoek te herhalen, en meer specifiek te richten op het identificeren van de overige factoren, die naast stikstofgehalte van de wortel het forceerresultaat bepalen. Daarbij zal met name naar grondsoort, bemestingstoestand (K, P ?), en voorvrucht gekeken kunnen worden. Ook verschillen tussen (vroege en late) rassen zouden zo globaal in kaart kunnen worden gebracht.

### 4. Bepalingen van basisgegevens in partijen wortels

Hoewel het op grond van de verkregen gegevens gewenst lijkt van partijen wortels in de praktijk een aantal basisgegevens te verzamelen, zoals stikstofgehalte en koolhydraatsamenstelling, moet voor al te groot optimisme worden gewaarschuwd. Vanwege de gevonden grote spreiding lijkt het gewenst om voorafgaand aan de eventuele stimulering van de invoering hiervan enkele jaren proefbepalingen uit te voeren met een geselecteerd aantal telers.

### 5. Kwaliteit van proefmateriaal

Ondanks het professionele werk van het PAGV bij de teelt van witlofwortels is niet goed mogelijk gebleken om met behulp van bemestingsproeven in het veld reproduceerbaar witlofwortels van een voldoende uniforme kwaliteit, met het gewenste stikstofgehalte te telen. Zoals de resultaten van het oogstjaar 1991 aantoonde is de stikstof-mineralisatie in de bodem soms zo hoog, dat lage stikstofgehalten niet gerealiseerd kunnen worden. Voor het vaststellen van goede verbanden is het noodzakelijk over wortels met extreme eigenschappen en een grote mate van reproduceerbaarheid te beschikken. Tegen deze achtergrond is het noodzakelijk om ten behoeve van vervolgonderzoek een teeltsysteem te gebruiken c.q. te ontwikkelen, bijvoorbeeld op watercultuur of zandbed, waarbij de voeding beter te controleren is.

#### *6. Samenstelling voedingsoplossing*

Aan de rol van de mineralen K en Ca in de voedingsoplossing en in de wortel en tijdens het forceren is betrekkelijk weinig aandacht besteed. Een grondige studie in een nieuw project zou zich moeten richten op de mogelijkheden om, gegeven het stikstofgehalte van de wortel, door een juiste timing en dosering van de mineralen in de voedingsoplossing negatieve kenmerken van de krop te minimaliseren. In dit verband kan het wenselijk zijn ook de luchtvochtigheid of luchtbeweging als proeffactor te gebruiken.

#### *7. Samenstelling van de krop*

Afhankelijk van de eigenschappen van de wortel en de forceerduur verandert de samenstelling van de krop. Het drogestof gehalte daalt aan het einde van de forceerperiode, en bij stikstofrijke wortels is het gehalte aan vrije suikers lager dan bij stikstofarme. Bekend is dat een laag suikergehalte gevolgen heeft voor de expressie van bitterheid. Ook het eiwitgehalte kan variëren. Of en hoe deze eigenschappen mede de smaak en houdbaarheid bepalen is niet aan de orde geweest. Het verdient aanbeveling in een aantal tests na te gaan of er een relatie bestaat tussen stikstofgehalte van de wortel, smaak en houdbaarheid.

#### *8. Rol van groeipunt en groeipuntontwikkeling*

Witlof is een tweejarige plant, die aan het einde van eerste seizoen een bloeistengel aanlegt. Ook de bladeren van de rozet, die als krop verschijnt, zijn bij het ingaan van de rustfase (winter) in principe al aangelegd. In hoeverre de karakteristieken van dit meristeem bepalend zijn voor de ontwikkeling van de pit en de kropvorm en daarmee verband houdende kwaliteitskenmerken is niet bekend.

# 1. Inleiding

## 1.1. Algemeen

Witlof, *Cichorium intybus* L. var. *Foliosum*, is een tweejarige plant van de familie der samengesteldbloemigen, *Compositae*, en nauw verwant aan bijvoorbeeld cichorei (*Cichorium intybus* L. var. *Sativus*) en andijvie (*Cichorium intybus* L. var. *Endivia*). In het eerste jaar vormen de planten penwortels waarin reservestoffen worden opgeslagen. Witlof is een langedagplant, die bovendien een koude periode nodig heeft voor hergroei en inductie van de bloei in het tweede jaar: de zogenaamde vernalisatie.

Het productieproces van witlof bestaat hierdoor uit drie fases. De teelt van de penwortels vindt plaats vanaf eind april, wanneer meestal direct in de vollegrond wordt gezaaid. De wortels worden vanaf begin augustus tot half november gerooid. Hierna volgt een periode van koude behandeling, door de wortels direct na het rooien in te kuilen, ofwel op te slaan in een koelcel bij een temperatuur rond of even boven het vriespunt. Wanneer de wortels hierna bij een hogere temperatuur in het donker worden geforceerd, ontwikkelt zich door etiolering een witte gesloten krop, die in de praktijk al na 21 tot 23 dagen wordt geoogst. Door de afwezigheid van fotosynthese fungeren de reservestoffen in de wortel als bouwstof en energiebron. De plant blijft, door het ontbreken van een lichtstimulus in een vegetatief stadium, waarbij wel een bloemsteel wordt aangelegd, de zogenaamde pit.

De productie van witlof vond oorspronkelijk plaats door het direct na rooi inkuilen van de wortels en het afdekken met grond. Vanaf het moment dat er gebruik werd gemaakt van bodemverwarming om de groei te versnellen was er sprake van 'forceren' of 'trekken'. Twintig jaar geleden werd begonnen met de hydrocultuur van witlof; de productie van kroppen in lichtdichte klimaatcellen met op circulerende voedingsoplossing geplaatste wortels. Aanvankelijk werd de cultuur uitgevoerd op leidingwater en vervolgens op een calciumnitraat-oplossing. Daarna heeft onderzoek in Frankrijk, België en Nederland geleid tot het samenstellen van een Hoagland-type voedingsoplossing bestaande uit calciumnitraat en Nutriflora-t.

## 1.2. Problematiek en Onderzoekopzet

Problemen met betrekking tot het forceren van witlof betreffen zowel de groei van de krop als de kwaliteit ervan. De groei van de witlofkrop wordt behalve door de minerale voeding beïnvloed door een complex van factoren. De kropproductie wordt bepaald door de mate waarin de koolhydraatreserves uit de wortel worden verbruikt en de efficiëntie waarmee ze worden omgezet in biomassa van de krop. Deze omzettingen tijdens de groei zijn niet alleen afhankelijk van de forceercondities, maar ook van de fysiologische toestand van de wortel. De fysiologische eigenschappen van de wortel hangen weer samen met het ras, de teeltomstandigheden, het rooitijdstip en de bewaaromstandigheden.

In voorafgaand onderzoek van Vertregt (CABO) en van Kruistum (PAGV)\* is gekeken naar de invloed van het rooitijdstip op de fysiologische toestand van de wortel, waarbij vooral gelet werd op de verschillen in maat en koolhydraatsamenstelling. Na een vaste periode van koude bewaring van 1 week bij 4°C werden de wortels 23 dagen geforceerd bij een temperatuur die

---

\* N. Vertregt & G. van Kruistum, 1989. Redistribution of dry matter and carbohydrates in Witloof chicory during forcing. *Scientia Horticulturae*, 39: 271-278.

varieerde van 18 tot 15°C, afhankelijk van de lengte van de teeltperiode. De verbanden tussen wortelgewicht, drogestofafname en kropproductie werden onderzocht in relatie tot de rooidatum van de wortels. Uit dit onderzoek is gebleken dat het rendement van de kropproductie, de omzettingsefficiëntie van koolhydraten naar de vorming van de krop, sterk afneemt bij toenemende afmeting van de wortels afkomstig van op eenzelfde datum gerooide partijen. De beperkende factor in dit omzettingsproces was niet bekend. Voorts werd een groot verschil in rendement van kropproductie tussen op verschillende data gerooide wortels gevonden.

Door de grote invloed van teelt- en bewaarcondities op de fysiologische toestand van de wortel als uitgangsmateriaal voor het forceren, kan onderzoek naar de factoren die de produktie van witlof bepalen niet worden uitgevoerd zonder daarbij de eigenschappen van de wortel en van de omzettingsprocessen tijdens de groei van de krop te betrekken. Door nauwkeurige analyse van de groei van de krop in relatie tot de benutting van de reserves is getracht de oorzaken van de uiteenlopende produktie-resultaten op te sporen.

Ook kwaliteitskenmerken, die in sterke mate van invloed zijn op het bedrijfsresultaat, worden bepaald door de wijze waarop de krogroei verloopt. Negatieve kwaliteitskenmerken zijn van morfologische aard, zoals een slecht gesloten krop en een gestrekte stengel (pit), of van fysiologische aard, zoals bijvoorbeeld bruinverkleuring van de pit. Bestudering van de processen en de invloed van verschillende factoren tijdens het forceren op het verloop van de krogroei leidt tevens tot inzicht in de achtergronden van kwaliteitsontwikkeling.

### **1.3. Doel van het onderzoek**

De forceerresultaten van witlof in de praktijk vertonen een grote variatie in zowel opbrengst als in kwaliteit van de krop.

Het doel van dit onderzoek is het vergroten van de fundamentele kennis van processen die een rol spelen bij de groei van de krop, de relatie met de fysiologische eigenschappen van de wortel, en de invloed van factoren tijdens het forceren. Door nauwkeurige analyse van processen en factoren tijdens forceren in relatie tot de benutting van de reserves moeten de oorzaken van de variatie in krogroei worden vastgesteld.

Het onderzoek is gericht op verbetering van de kwaliteit- en opbrengstzekerheid.

Een beter inzicht in het algemene verloop van de groeiprocessen en de afwijkingen die daarin kunnen optreden, moet dienen om gericht onderzoek te kunnen uitvoeren naar de mogelijke aanpassing van teelt- en forceeromstandigheden ter optimalisatie van de kropproductie en kropkwaliteit.

## 2. Uitvoering van de experimenten

### 2.1. Algemene proefbeschrijving

#### *Wortelteelt*

Voor alle uitgevoerde experimenten zijn wortels van het ras 'Flash' gebruikt, behalve een experiment in samenwerking met het PAGV, waarin verschillende rassen zijn vergeleken (zie experiment 13). De teelt van de wortels werd geregeld door het PAGV en vond in de meeste gevallen plaats op licht kleiige zandgrond bij het proefbedrijf 'De Waag' in Creil, tenzij anders vermeld en behalve een tweetal experimenten (11 en 12) waarin wortels van witlof-producenten uit verschillende regio's in Nederland werden vergeleken. De grond werd meestal voor het zaaien bemest met 80 kg N/ha, behalve voor de experimenten die zijn uitgevoerd om de invloed van het stikstofgehalte van de wortel op de kropgroei te bestuderen. Het zaaitijdstip varieerde per experiment van eind april tot half mei en het rooitijdstip van de wortels varieerde van half september tot half oktober.

#### *Voorbehandeling*

De wortels werden na het rooien minimaal 2 weken bewaard bij 0°C, maar voor de meeste experimenten bedroeg de bewaarperiode 5 of 15 weken. Na de koude bewaring bleven de wortels een halve tot hele dag bij 2 à 3°C en werden vervolgens zorgvuldig met koud water gewassen, waarbij afgestorven bladresten van het eerste groeiseizoen zoveel mogelijk werden verwijderd. Van de wortels werd een stukje van de punt afgesneden, zodat de lengte van de wortel maximaal 18 cm bedroeg. Wortels met een lengte korter dan 15 cm werden in de experimenten niet gebruikt. Van alle wortels werd de diameter gemeten, en er vond een selectie op diameter plaats, waarbij wortels met een diameter kleiner dan 3 of groter dan 6 cm wel werden geregistreerd maar niet in de experimenten werden gebruikt, behalve bij de experimenten die specifiek voor het bestuderen van de invloed van de worteldiameter op de kropgroei waren opgezet. Het groeipunt met de nog aanwezige oude bladresten werd op basis van grootte ingedeeld in een categorie van 1 tot 5. De wortels werden gewogen en individueel gelabeld met twee kleuren- en één numerieke code, waarna ze zo snel mogelijk in de forceerruimten in het donker op een voedingsoplossing werden gezet.

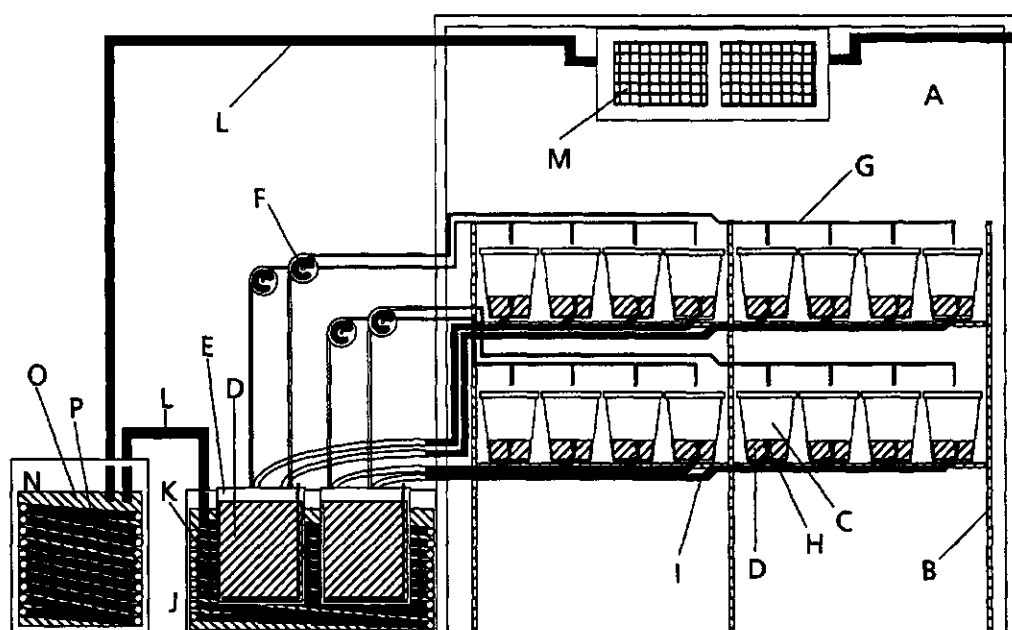
Circa 10 wortels per partij werden als monster gebruikt en in de lengte gesplitst om cortex en stele van elkaar te scheiden. Cortex en stele werden gewogen en gehakseld voor drogestofbepaling en chemische analyse. Ook het groeipunt met de overgebleven bladresten werd gewogen om als referentie te dienen voor de 5 categorieën en versneden om te drogen. De overgebleven punten van de ingezette wortels werden eveneens gewogen en gehakseld voor drogestofbepaling en chemische analyse.

#### *Forceeropstelling*

Alle experimenten zijn uitgevoerd in twee speciaal voor dit onderzoek gebouwde forceerruimten die continu geventileerd kunnen worden en waarin de luchttemperatuur



afzonderlijk op  $0,1^{\circ}\text{C}$  nauwkeurig kan worden ingesteld (Fig. 2.1). Beide forceerruimten zijn voorzien van een stelling waarop 16 PVC-bakken zijn opgesteld in 4 kwadranten van 4 bakken. Een forceerbak ( $l \times b \times h$ :  $65 \times 18 \times 25$  cm) kan maximaal 50 wortels met een 4 cm diameter bevatten, en is voorzien van een aanvoerleiding voor de continu circulerende voedingsoplossing en een overloop op 7 cm hoogte, waardoor 8 liter voedingsoplossing in de bak staat. Elke groep van vier forceerbakken is aangesloten op een reservoir voor 40 liter voedingsoplossing. De in totaal 76 liter voedingsoplossing per groep wordt continue geaëreerd en elke 15 minuten volledig gecirculeerd. De temperatuur van de 4 voedingsoplossingen per forceerruimte kan eveneens op  $0,1^{\circ}\text{C}$  nauwkeurig worden ingesteld.



Figuur 2.1. Forceeropstelling voor witlof zoals die gebruikt is in de experimenten. A: lichtdichte en geïsoleerde forceerruimte (2x) met verwarming en koeling (M), B: metalen stelling voor 4 groepen van 4 forceerbakken (C), D: circulerende voedingsoplossing, E: reservoir voedingsoplossing (4 per cel) met aeratiesysteem, F & G: pomp en aanvoerleiding voor voedingsoplossing voor 4 bakken, H & I: overloop en afvoer voedingsoplossing, J: waterbak voor temperatuurregulatie voedingsoplossing met verwarming en koelspiraal (K), L: koelwaterleidingen, N: koelwaterbak, O: koelwater, P: koelspiraal

### Forceercondities

De beschikbaarheid van twee identieke forceerruimten bood de mogelijkheid tegelijkertijd bij twee temperaturen te forceren. In het algemeen werd de forceertemperatuur aangepast aan de fysiologische ontwikkeling van de wortels, zoals dat ook in de praktijk gebruikelijk is. Aangezien vaak in opeenvolgende experimenten gebruik werd gemaakt van op hetzelfde tijdstip gerooide partijen wortels, werd een lagere temperatuur aangehouden naarmate de wortels langer waren bewaard. De luchttemperatuur varieerde hierdoor per experiment binnen een range van  $21$  tot  $12^{\circ}\text{C}$ . De temperatuur van de voedingsoplossing kon apart geregeld worden en werd consequent  $3^{\circ}\text{C}$  hoger dan de luchttemperatuur ingesteld. Als voedingsoplossing werd in de experimenten een verdunning van een 'Hoagland'-type voedingsoplossing gebruikt, die werd samengesteld uit 5 stock-oplossingen, te weten 4 macronutriënten: kaliumnitraat ( $\text{KNO}_3$ ), kaliumfosfaat ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), calciumnitraat ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) en

magnesiumsulfaat ( $\text{MgSO}_4$ ), en een micronutriëntenoplossing (zie bijlage1: Hoagland). Door de zeer geringe behoefte van witlof aan ijzer, vanwege de afwezigheid van chlorofyl, werd géén ijzercomplex-oplossing (Fe-EDTA) toegevoegd. De basale voedingsoplossing bestond daardoor, wat macronutriënten betreft, uit 6 mM  $\text{K}^+$ , 5 mM  $\text{Ca}^{2+}$ , 2 mM  $\text{Mg}^{2+}$ , 15 mM  $\text{NO}_3^-$ , 2 mM  $\text{SO}_4^{2-}$  en 1 mM  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , waarmee een EC-waarde van ca. 2 mS/cm werd gecreëerd. Deze basale voedingsoplossing werd, afhankelijk van het experiment 2, 4, 8, 16 of 32x verdund, wat verder aangegeven zal worden als  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ , ...  $\frac{1}{32}$  H. Aan het begin van elk experiment werd 25 g Aliette® (werkzame stof: Fosetyl-aluminium, 80%) per reservoir aan de voedingsoplossing toegevoegd (0,33 g/l), ter voorkoming van *Phytophthora*-aantasting gevolgd door natrot (*Erwinia*). De circulerende voedingsoplossing werd, afhankelijk van het aantal wortels per groep en de fase van forceren, elke 5 tot 8 dagen volledig ververs. In een groot aantal experimenten werden regelmatig monsters van de voedingsoplossingen genomen voor analyse van de samenstelling.

Door de indeling van de forceerruimten was het mogelijk bij 2 forceertemperaturen en bij 4 voedingsoplossing 4 verschillende partijen wortels gescheiden te forceren. In de meeste experimenten werden de forceerbakken niet volledig gevuld, maar met 20 tot 30 wortels in plaats van 50, om de risico's van kwetsuren en rotting te voorkomen, de groei van fijne wortels niet te belemmeren, en de bereikbaarheid van de planten te vergroten. Direct na inzetten werden de wortels bespoten met 1,5 liter van een 400x verdunde Ronilan®-oplossing (werkzame stof: vinchlozolin, 500 g/l) per 500 wortels, ter voorkoming van *Sclerotinia*-besmetting.

## Oogst

Op verschillende tijdstippen tijdens forceren, van 5 tot 40 dagen, werden per partij wortels en forceerconditie een aantal planten willekeurig uit de forceerbakken genomen en tijdelijk in plastic zakken gedaan om uitdroging te voorkomen. Voor bepaling van de afmetingen van krop, pit en wortel werden in de meeste experimenten de planten in hun geheel in de lengte doorsneden, waarna van één helft de binnenzijde en van de andere helft de buitenzijde op 35 mm diapositief film werd gefotografeerd, op een achtergrond van millimeterpapier voor de schaalreferentie.

In andere (met name de eerste) experimenten werden de lengte en diameters van krop en pit direct gemeten. De wortels werden opgesplitst in cortex en stele, en de krop in blad en pit. Alle delen werden gewogen en vervolgens gehakseld (wortel) danwel versneden (krop) voor het drogen.

## Analyses

Zowel de wortelmonsters die genomen zijn op het moment van inzetten, als de wortel- en kropmonsters die genomen zijn op de verschillende oogsttijdstippen werden gedurende twee dagen in een geforceerd geventileerde droogstoof bij 70°C gedroogd en vervolgens gewogen. Het grootste deel van het gedroogde materiaal werd fijngemalen om te kunnen gebruiken voor de verschillende chemische analyses. Circa 3 g van het gedroogde materiaal werd een nacht nagedroogd bij 105°C en vervolgens teruggewogen voor de bepaling van het drogestofgehalte.

De koolhydraatsamenstelling van wortel- en kropdrogestof werd bepaald met HPLC-technieken, waarvoor 1 g drogestof 10 minuten in 25 ml gedemineraliseerd water (Mili-Q) tot 100°C werd verhit en de niet oplosbare delen vervolgens werden afgefiltreerd. Via een voorkolom,

om anionen en de nog aanwezige eiwitresten te verwijderen, werd de oplossing op een scheidingskolom gebracht. In het algemeen werd als scheidingskolom een SugarPak-kolom (Waters) gebruikt, maar voor meer gedetailleerde scheidingen werd gebruik gemaakt van een Oligosacharide-kolom (ChromPack). Het koolhydraatgehalte van de drogestof werd bepaald door de afgefilterde koolhydraatoplossing met 10 N zwavelzuur te hydrolyseren tot fructose en glucose, en daarvan het gehalte te bepalen, eveneens met HPLC. Het stikstofgehalte van de drogestof werd in de eerste experimenten bepaald volgens de Kjeldahl methode en later met een 'Macro-N' techniek. Het aandeel van nitraat in het (totaal) stikstofgehalte werd colorimetrisch bepaald met een Auto-analyser. Het gehalte aan, en de samenstelling van aminozuren werd eveneens met een HPLC-techniek geanalyseerd. De aminozuursamenstelling van de eiwitten werd na hydrolyse met zoutzuur op dezelfde manier bepaald met de 'piko-TAG'-methode. Analyse van mineralen werd uitgevoerd door bepaling van kationen als kalium, calcium en magnesium met behulp van atomaire absorptie spectrofotometrie (AAS), in zowel wortel- en kropdrogestof als in monsters van de voedingsoplossingen. In enkele experimenten werd in de monsters van de voedingsoplossingen bovendien de concentratie van anionen als nitraat, sulfaat en fosfaat met een HPLC techniek gemeten.

### *Bewerkingen*

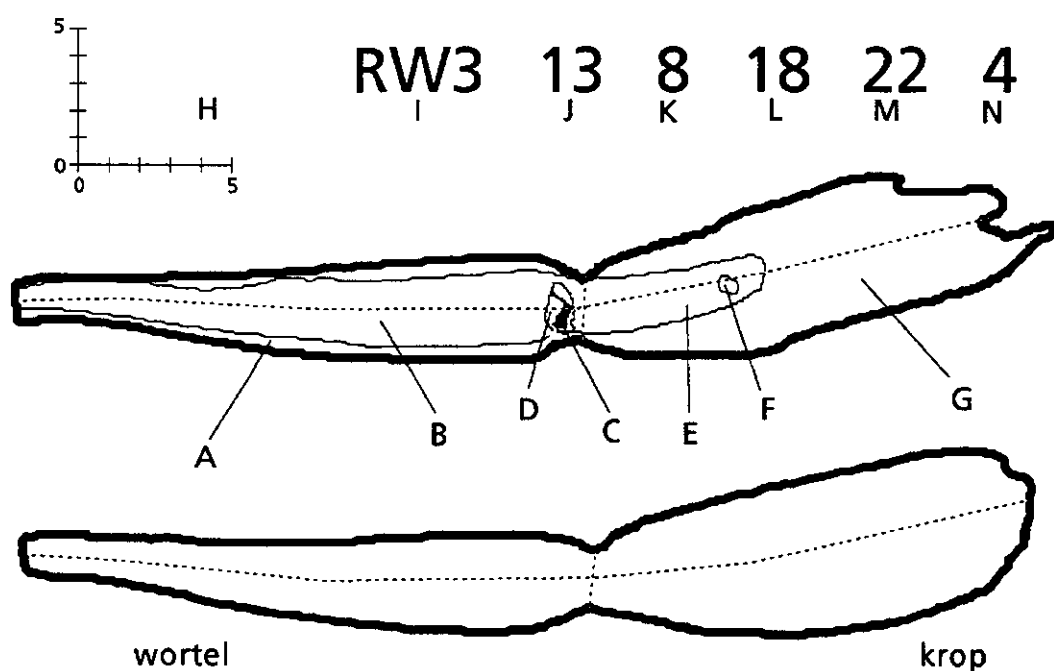
De door metingen en analyses verkregen ruwe gegevens (gewichten, maten, gehalten en samenstellingen) werden in verschillende databanken opgeslagen, waarbij gebruik werd gemaakt van dBase IV programmatuur. Met behulp van 'spreadsheet'- en grafische programma's werden de ruwe gegevens verwerkt. Berekeningen van de verplaatsing en verliezen van drogestof, koolhydraten, eiwitten en mineralen werden uitgevoerd. Ook werden variantie-analyses van de data uitgevoerd, met behulp van Genstat.

De fotografisch vastgelegde doorsneden van wortel en krop werden met behulp van een CAD/CAM-programma (AutoCAD) gedigitaliseerd (Fig. 2.2). De hierbij verkregen coördinaten werden gebruikt om, middels speciaal hiervoor geschreven Basic-programma's, de verschillende afmetingen te berekenen, zoals lengte, midden- en topdiameter van de krop, pitlengte en doorsnede-oppervlak van bruine pitplekken. Bovendien kon met deze coördinaten bij benadering het krop-, pit- en wortelvolume worden berekend. De afmetingen, de onderlinge verhoudingen, en de relatie met bv. het versgewicht werden gebruikt voor een kwantitatieve benadering van de kropkwaliteit. Deze gegevens zijn standaard *per wortel* berekend. Ook de uit deze berekeningen verkregen data werden in databanken opgeslagen en vervolgens bewerkt.

### **N.B.:**

Aangezien wortels gebruikt werden die varieerden in gewicht zijn de gegevens betreffende de versestof- en drogestofproductie, de redistributie van drogestof(bestanddelen) en de mineralenopname standaard berekend *per gram oorspronkelijk wortelgewicht*. In de figuren staat de term **w\*** voor **worteldrogestof vóór forceren**.

In enkele gevallen zijn deze gegevens echter wel *per wortel (w)* berekend.



Figuur 2.2. Computertekening (van foto) van witlofwortel en -krop op lengtedoorsnede. A: cortex, B: stele, C: wortelholte, D: bruinverkleuring wortel, E: pit, F: bruinverkleuring pit, G: bladeren. H: schaalverdeling (in cm), I: (kleur)code plant, J: teeltperceel, K: verdunningsfactor Hoagland voedingsoplossing, L: forceertemperatuur (lucht), M: forceerduur (dagen), N: experiment nummer





### 3. Resultaten van de experimenten

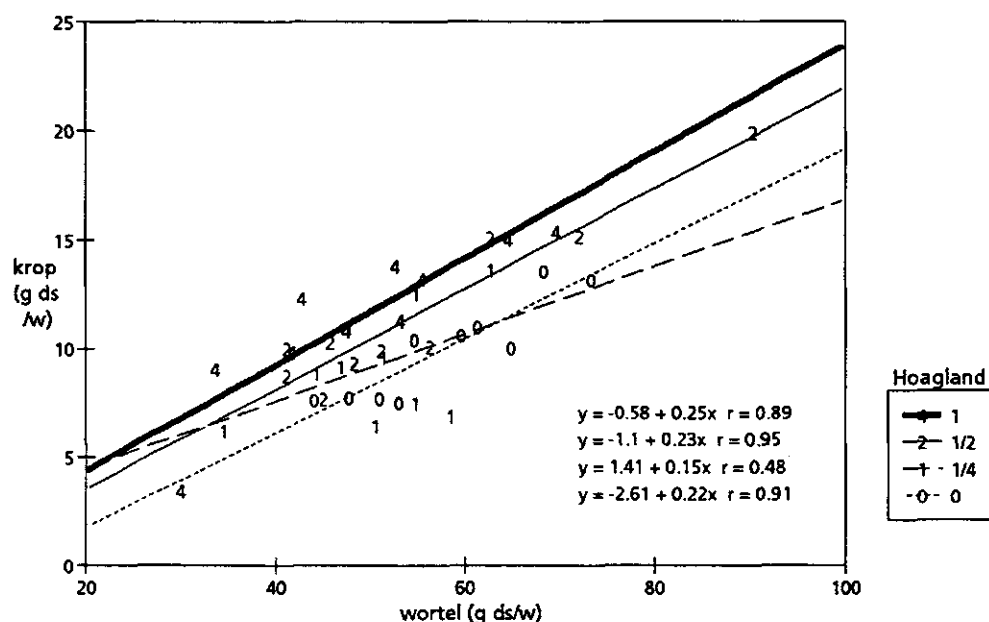
In dit hoofdstuk zullen de resultaten van de afzonderlijke experimenten, of van series van experimenten die met hetzelfde doel zijn opgezet, besproken worden. De experimenten worden zo veel mogelijk in chronologische volgorde behandeld, tenzij dit de verbanden tussen experimenten te veel doorkruist. In geval de resultaten een herhaling zijn van resultaten in voorgaande experimenten, zullen deze wel vermeld worden, maar niet meer gedetailleerd worden behandeld.

*opmerking:* De gegevens betreffende de versestof- en drogestofproductie, de redistributie van drogestof(bestanddelen) en de mineralenopname worden meestal uitgedrukt in g/g w\*, wat betekent dat ze zijn berekend per gram worteldrogestof vóór forceren (w\*). In de gevallen dat ze berekend zijn per wortel wordt dat aangegeven als g/w..

#### 3.1. Invloed van de wortelmaat en de sterkte van de voedingsoplossing op de kropproductie (experiment 1)

Dit eerste experiment werd uitgevoerd met als doel om de forceerinrichting te testen en een globale indruk te krijgen van de variatie in kropproductie en de relatie met het wortelmateriaal en de forceeromstandigheden.

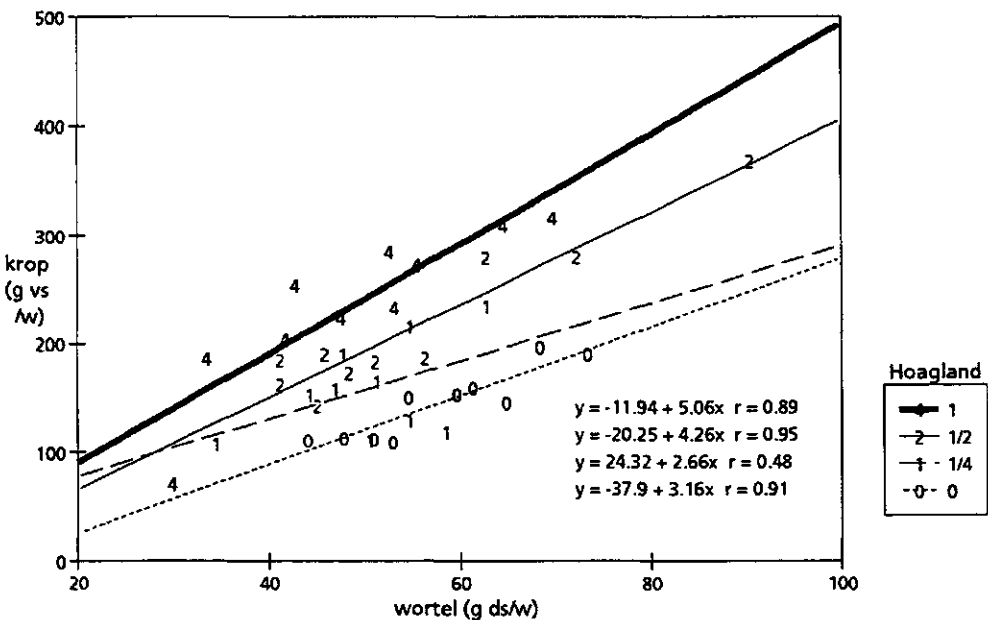
De wortels van het ras 'Faro' waren niet allemaal van het zelfde gewicht. De gebruikte wortels hadden een drooggewicht tussen de 30 en 75 g, met een enkele uitzondering van 80 of 90 g. Zowel na 18 als na 25 dagen forceren bleek de gevormde hoeveelheid kropproduct een rechtevenredig verband te vertonen met het oorspronkelijke wortelgewicht (Fig. 3.1.1).



Figuur 3.1.1. Kropproductie (drogestof) per wortel na 25 dagen forceren van wortels met een verschillende gewicht, bij 15°C en verschillende concentraties van een Hoagland voedingsoplossing

Elke 10 gram extra drogestof in de wortel levert ca. 2,5 g extra kropdrogestof op. Bij een sterker verdunde voedingsoplossing was de hoeveelheid gevormde kropdrogestof geringer, ca. 3,5 g ds minder bij leidingwater dan bij volledige Hoagland-oplossing (50 g ds wortel), maar de relatie met het wortelgewicht bleef vrijwel hetzelfde. Alleen de resultaten bij 1/4 Hoagland weken af: hoewel de gemiddelde hoeveelheid gevormde kropdrogestof wel kleiner was dan bij 1/2 Hoagland en groter dan bij leidingwater, was niet dezelfde relatie met het wortelgewicht waar te nemen.

Het drogestofgehalte van de kroppen was min of meer gelijk bij kleine en grote wortels, maar was lager bij een hogere concentratie van de voedingsoplossing, ca. 70 en 50 mg/g bij respectievelijk leidingwater en volledige Hoagland-oplossing. De kropproductie (versestof) nam dan ook sterker toe dan de drogestof, naarmate de voedingsoplossing geconcentreerder was (zie Fig. 3.1.2).



Figuur 3.1.2. Kropproductie (versestof) per wortel na 25 dagen forceren van wortels met een verschillende gewicht, bij 15° C en verschillende concentraties van een Hoagland voedingsoplossing

In tegenstelling tot bij de drogestofvorming leveren wortels met 1 gram extra drogestof op een Hoagland voedingsoplossing 5 g extra verse krop op, terwijl ze op leidingwater maar 3 g extra opleveren.

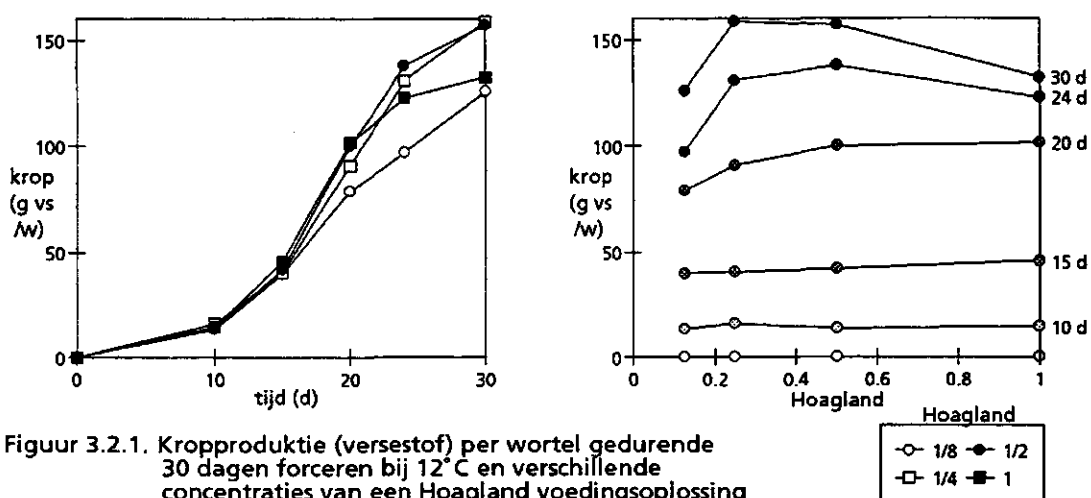
Hoewel de verschillen in kropproductie wat minder extreem waren, waren ook al na 18 dagen forceren dezelfde relaties met wortelgewicht en sterkte van de voedingsoplossing waar te nemen. Door het geringe aantal tijdstippen waarop gemeten was waren geen duidelijke verschillen waar te nemen bij forceren bij 12 of 15° C.

Het is van belang bij dit experiment de opmerking te plaatsen dat aan het einde van forceren gedurende circa 8 uren de forceerruimten regelmatig open zijn geweest, zodat door inval-lend TL-licht de kroppen enigszins groen waren verkleurd. Bovendien werd in dit experiment de voedingsoplossing niet verversd tijdens forceren, waardoor in feite geen sprake is van een concentratie, maar van een gift van de voedingsoplossing. Dit heeft tot gevolg gehad dat de voedingsoplossingen (voor een groot deel) werden uitgeput.



### 3.2. Invloed van de wortelmaat en de concentratie van de voedingsoplossing op de kropproductie en kropvorm gedurende forceren (experiment 2)

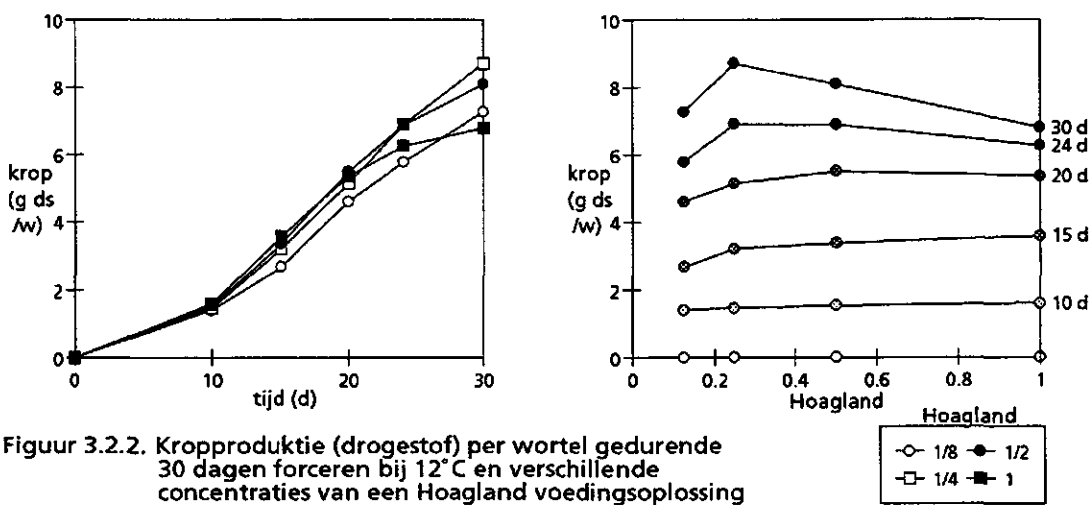
Omdat in de praktijk in de loop van het seizoen een lagere forceertemperatuur wordt gebruikt om de compenseren voor de langere bewaarperiode van de wortels, werden in de experimenten ook 2 verschillende temperaturen aangehouden. In twee opeenvolgende experimenten was altijd één temperatuur hetzelfde, om de resultaten te kunnen vergelijken. Hiervoor is het nodig te weten in welke groeistadia de kroppen worden vergeleken. In dit experiment werd onderzocht hoe de kropontwikkeling gedurende 30 dagen forceren verloopt, met als doel na te gaan in welk groeistadium de kroppen normaliter worden geoogst, en wanneer factoren als voeding en wortelmaat een duidelijke invloed (gaan) uitoefenen. In de eerste 10 dagen van het forceren van wortels van het ras 'Faro' bij een temperatuur van 12°C was de krogroei gering, maar nam vervolgens sterk toe tot 20 dagen (Fig. 3.2.1). Tussen 20 en 24 dagen blijft de krogroei redelijk constant, maar na 24 dagen neemt de krogroei iets af. Een maximale kropproductie is echter na 30 dagen nog niet bereikt, terwijl in de praktijk bij deze forceertemperatuur na ca. 24 dagen wordt geoogst.



Figuur 3.2.1. Kropproductie (versestof) per wortel gedurende 30 dagen forceren bij 12°C en verschillende concentraties van een Hoagland voedingsoplossing

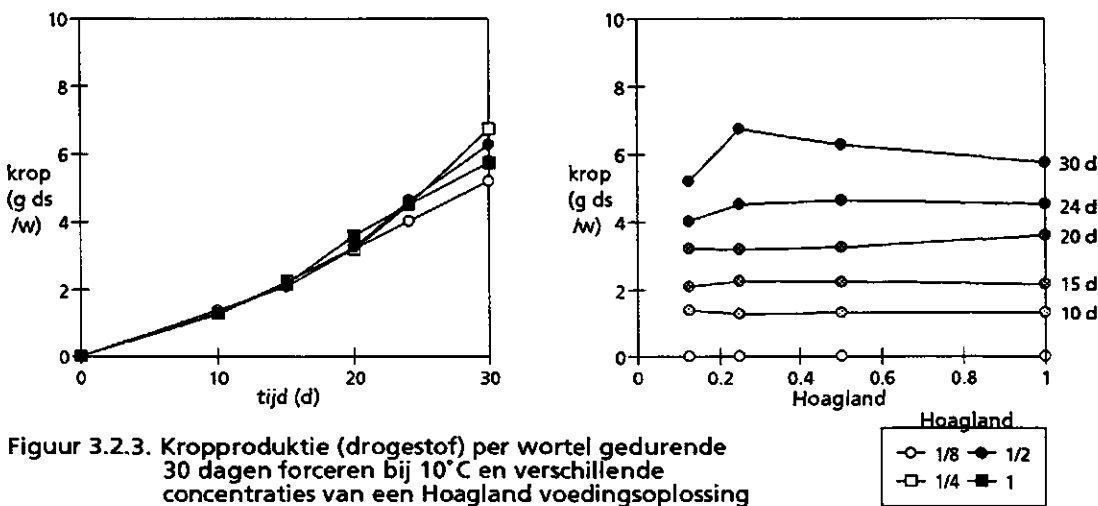
Gedurende de eerste 15 dagen was de hoeveelheid verse krop hetzelfde bij forceren op alle voedingsoplossingen (Fig. 3.2.1). Na 20 dagen forceren was de kropproductie bij de volledige en 1/2 Hoagland voedingsoplossing nog steeds gelijk, maar bij 1/4 Hoagland was de kropproductie lager en bij 1/8 Hoagland nog lager. Na 24 dagen was de kropproductie ook lager naarmate de voedingsoplossing minder geconcentreerd was dan 1/2, maar de volledige voedingsoplossing leverde nu ook een geringere kropproductie dan 1/2 Hoagland oplossing. Dit was ook na 30 dagen het geval: nu bleek zelfs de kropproductie bij 1/2 Hoagland niet meer hoger dan bij 1/4 Hoagland.

Min of meer hetzelfde patroon als bij de produktie van verse krop was te zien bij de vorming van kropdrogestof (Fig. 3.2.2). Opvallend was dat de kropdrogestofvorming minder leek af te nemen aan het einde van de forceerperiode, behalve bij de hoogste concentratie. Wanneer we de drogestof-curve met de versgewicht-curve vergelijken, zien we dat het drogestofgehalte van de krop in het begin van het forceren relatief hoog is en na 15 dagen begint af te nemen.



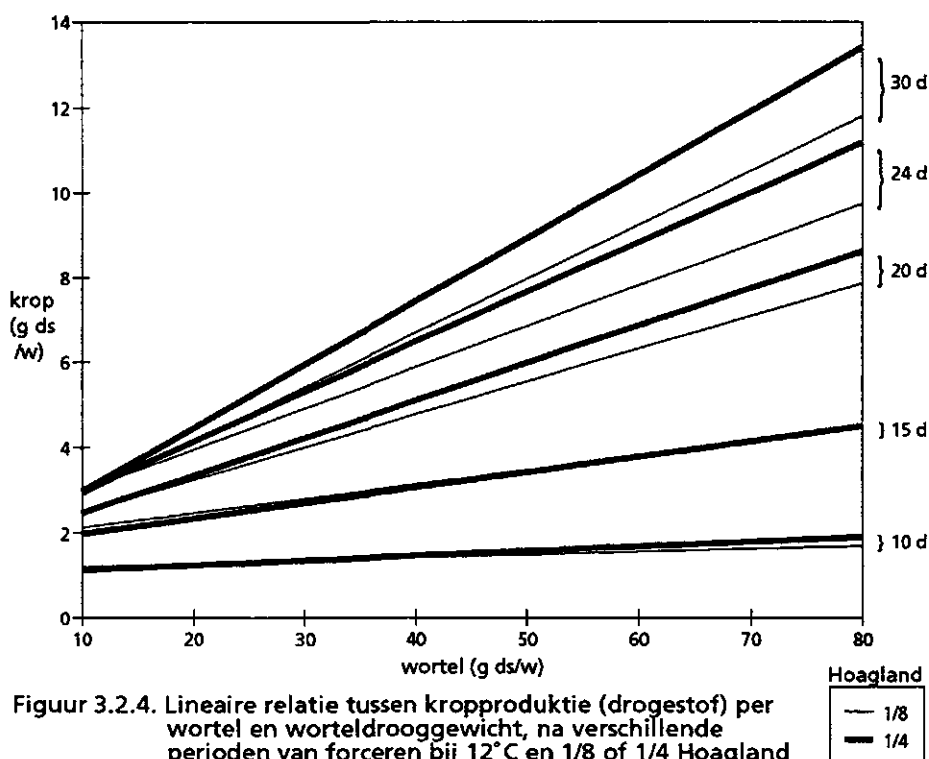
Figuur 3.2.2. Kropproductie (drogestof) per wortel gedurende 30 dagen forceren bij 12°C en verschillende concentraties van een Hoagland voedingsoplossing

Hoewel de verschillen in de hoeveelheid gevormde kropdrogestof tussen de verschillende concentraties voedingsoplossingen geringer waren dan in de verse kropproductie leken ze al wel eerder op te treden (Fig. 3.2.2). De remmende invloed van de hoge concentratie van de voedingsoplossing aan het einde van de forceerperiode bleek op de drogestofvorming nog sterker te zijn dan op de versgewichtproductie: ook bij 1/2 Hoagland was de hoeveelheid gevormde kropdrogestof al geringer dan bij 1/4 Hoagland. Tijdens forceren bij 10°C was zowel de verse- als drogestofproductie van de krop geringer dan bij 12°C. De vorming van kropdrogestof nam veel geleidelijker toe, en zelfs tot 30 dagen forceren (Fig. 3.2.3). Dit gold overigens ook voor de verse kropproductie. Toch was hier na 24 dagen forceren al een geringere kropgroei waar te nemen bij 1/8 Hoagland, en eveneens een licht remmende werking van de onverdunde en 2x verdunde voedingsoplossing op de vorming van kropdrogestof na 30 dagen forceren. De verse kropproductie was na 30 dagen nog steeds gelijk bij de verschillende voedingsoplossingen, behalve een lagere productie bij 1/8 Hoagland.



Figuur 3.2.3. Kropproductie (drogestof) per wortel gedurende 30 dagen forceren bij 10°C en verschillende concentraties van een Hoagland voedingsoplossing

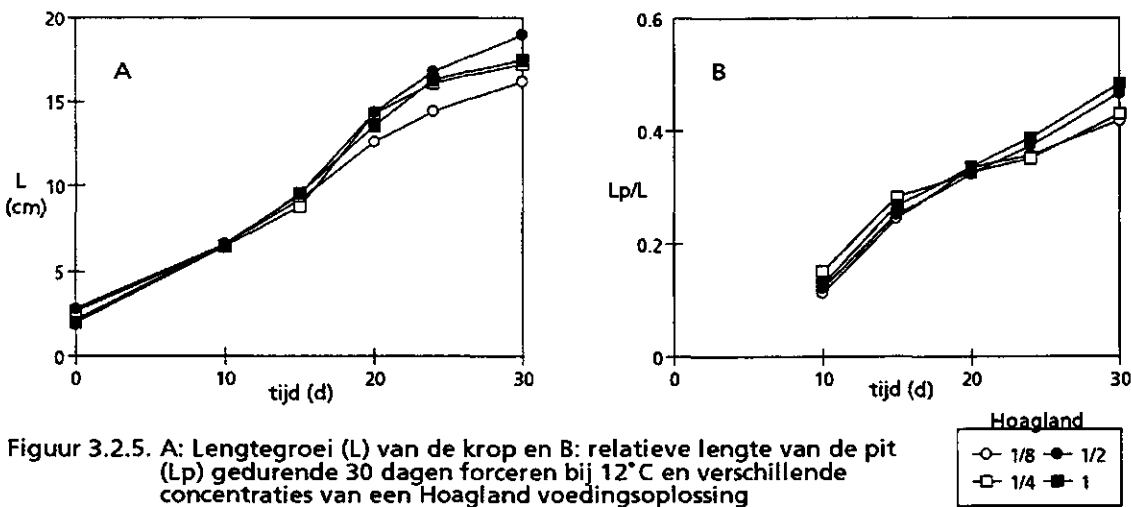
Zoals ook in het voorgaande experiment (zie 3.1) leverden kleinere wortels een geringe kropproductie. Aangezien in dit experiment op verschillende tijdstippen de hoeveelheid kropdrogestof werd gemeten, konden de verschillen in kropontwikkeling tussen wortelmatten gedurende een lange forceerperiode onderzocht worden. De wortels die in dit experiment gebruikt zijn varieerden in gewicht van 20 tot 70 g drogestof. In Fig. 3.2.4. staan de relaties (lineaire regressie-lijnen) tussen het wortelgewicht en de kropproductie weergegeven (de volledige resultaten zijn te vinden in bijlage 2). Na 10 dagen forceren op 1/4 Hoagland voedingsoplossing was er geen verschil in kropproductie tussen kleine en grote wortels, en ook na 15 dagen produceerden kleine wortels nog weinig minder kropdrogestof dan grote wortels.



Pas ná 15 dagen forceren, wanneer de krogroei sterk toenam, bleef de kropproductie bij kleine wortels achter. Dit bleef zo tot het eind van de forceerperiode van 30 dagen.

Al eerder in deze paragraaf is gemeld dat de concentratie van de voedingsoplossing gedurende de eerste 15 dagen geen invloed had op de kropproductie. Dit bleek voor alle maten wortels te gelden, want de relatie tussen kropproductie en wortelmaat was in deze periode hetzelfde. De lagere kropproductie ná 15 dagen bij 1/8 Hoagland trad in sterkere mate bij de grote wortels op.

Aangezien de variatie in kropvorming in de praktijk niet alleen de kropproductie betreft, maar dat vooral de wisselende kwaliteit problemen oplevert, werden in dit experiment aan individuele kroppen ook een aantal metingen verricht die betrekking hebben op de vorm. De lengtegroei van de kroppen bleek vrijwel hetzelfde patroon te volgen als de toename in verse stof gedurende 30 dagen forceren (Fig. 3.2.5.A). De lengtegroei van de krop nam tot 20 dagen forceren sterker toe, waarna de groei langzaam minder werd. Ook op de lengtegroei had een lage concentratie voedingsoplossing pas na 15 dagen een geringe remmende invloed.



Figuur 3.2.5. A: Lengtegroei (L) van de krop en B: relatieve lengte van de pit (Lp) gedurende 30 dagen forceren bij 12°C en verschillende concentraties van een Hoagland voedingsoplossing

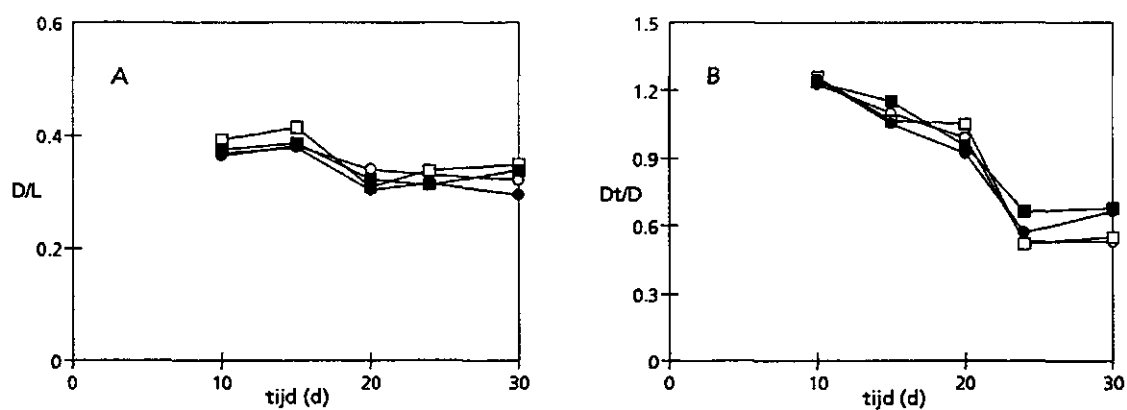
De volledige voedingsoplossing had aan het einde van de forceerperiode eveneens een beperkte lengtegroei tot gevolg.

De groei van de pit liep echter niet parallel aan de kropgroei. In het begin van het forceren, wanneer het groeipunt begon uit te lopen, was er nog geen meetbare pit aanwezig, alleen een aantal smalle blaadjes met een lengte van ca. 2 cm. In eerste instantie groeiden de bladeren verder uit. Na 10 dagen forceren bij 12°C waren de bladeren al bijna 3x zo lang geworden, terwijl de pit nog korter dan een centimeter was. Hierna ging de pit steeds sneller groeien. Dit had tot gevolg dat de pitlengte een relatief steeds groter deel van de kroplengte besloeg (Fig. 3.2.5.B).

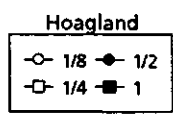
Terwijl de kropgroei aan het einde van de forceerperiode wat geringer werd en ook de kroplengte minder snel toenam, bleef de pit gewoon doorgroeien. De pitlengte werd de eerste 20 dagen niet beïnvloed door de concentratie van de voedingsoplossing, maar bleef daarna tot aan het einde van de forceerperiode sterk achter bij 1/4 of 1/8 Hoagland voedingsoplossing. Veel sterker zelfs dan de kroplengte, zodat ook de relatieve pitlengte in deze laatste 10 dagen van de forceerperiode wat geringer was bij de lage concentraties voedingsoplossingen.

Naarmate de krop groter werd, nam niet alleen de lengte maar ook de diameter proportioneel toe, zodat de verhouding tussen diameter en lengte van de krop redelijk constant bleef gedurende 30 dagen forceren (Fig. 3.2.6.A). De concentratie van de voedingsoplossing had geen duidelijke invloed op de verhouding tussen diameter en -lengte. Hoewel de kropvorm qua lengte en diameter gedurende het forceren redelijk constant bleef was dat niet het geval voor de geslotenheid van de krop. In het begin van het forceren stonden de blaadjes wat naar buiten en was de diameter van de top van de krop groter dan de middendiameter. Gedurende de eerste 20 dagen van forceren werd de bladstand geleidelijk wat verticaler, waardoor de top- en middendiameter van de krop min of meer gelijk werden (Fig. 3.2.6.B). Vervolgens begon de krop zich te sluiten, zodat na 24 dagen de topdiameter nog slechts de helft van de middendiameter bedroeg. In de daaropvolgende dagen tot aan het einde van de forceerperiode werd geen verandering in deze toestand waargenomen.

Gedurende de eerste 20 dagen was er geen invloed van de concentratie van de voedingsoplossing op de bladstand waar te nemen. Alleen het sluiten van de krop in de daaropvolgende periode leek iets sterker te zijn bij de meer verdunde voedingsoplossing.



Figuur 3.2.6. A: Verhouding tussen diameter (D) en lengte (L) en B: verhouding tussen top- (Dt) en middendiameter (D) van de krop gedurende 30 dagen forceren bij 12° C en verschillende concentraties van een Hoagland voedingsoplossing

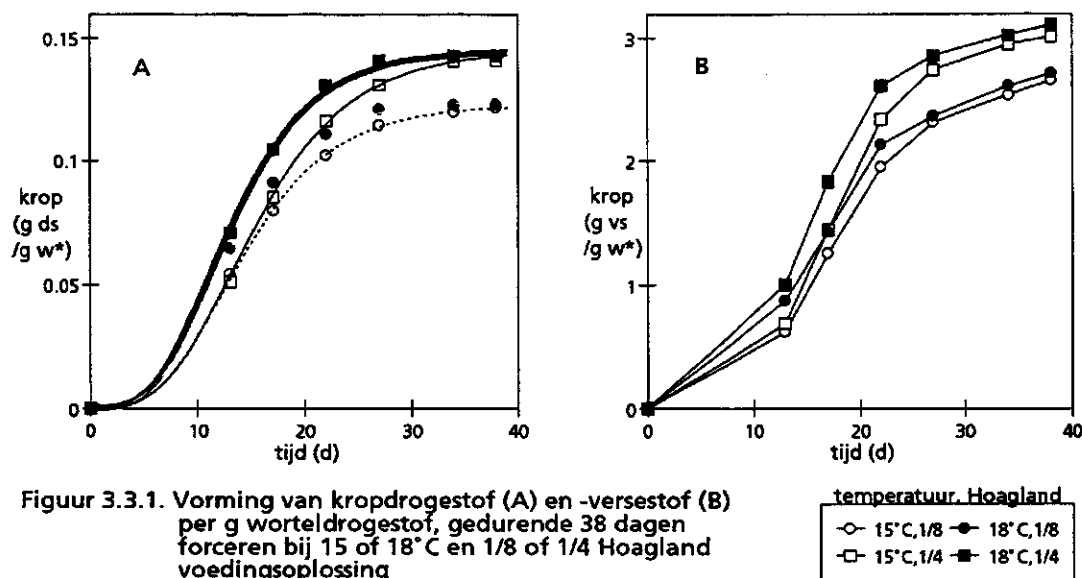


Evenals bij de verse- en drogestofproduktie, werden tijdens forceren bij 10 °C dezelfde patronen in het verloop van de verschillende aspecten van de kropvorm waargenomen, zij het wat geleidelijker dan bij 12°C. Ook de relaties tussen kroplengte en -diameter en tussen pit- en kroplengte vertoonden hetzelfde verloop. Alleen de verhouding tussen top- en middendiameter volgde bij 10°C een wat afwijkend patroon: Gedurende de eerste 20 dagen forceren bleef de topdiameter vrijwel constant groter dan de middendiameter, waarna de krop zich ging sluiten en de top/middendiameter verhouding bleef afnemen tot het einde van de forceeperiode.

### 3.3. Invloed van de forceertemperatuur en de concentratie van de voedingsoplossing op de kropproductie en kropvorm gedurende een lange periode van forceren (experiment 3)

In het voorgaande experiment (zie 3.2) werd reeds op verschillende tijdstippen gedurende een tot 30 dagen verlengde experimentele forceerperiode de kropvorming gevolgd om de verschillende groeistadia te kunnen onderscheiden. Aan het einde van deze forceerperiode bleek de kropgroei wel wat af te nemen, maar een maximale kropproductie was nog niet bereikt. Bij een lagere forceertemperatuur was de groeisnelheid van de krop aan het einde van de forceerperiode zelfs nog onveranderd. Om de verschillende groeistadia wel te kunnen onderscheiden, en bovendien bij verschillende temperaturen, werden wortels van het ras 'Flash' geforceerd gedurende een tot 38 dagen verlengde periode bij zowel 18 als 15°C op 1/4 of 1/8 Hoagland voedingsoplossing. Naar aanleiding van de in experiment 1 en 2 gevonden relatie tussen kropproductie en wortelgewicht wordt de kropproductie nu weergegeven per gram worteldrogestof, aangezien ook in dit experiment gebruik is gemaakt van wortels met een uiteenlopende gewichten van 20 tot 80 g drogestof.

De eerste groeifase van de krop verloopt exponentieel, zoals dat in het voorgaande experiment ook werd waargenomen (zie Fig. 3.2.1 en Fig. 3.2.2), waarna de groei in een lineaire fase komt. In dit experiment bevond de kropgroei zich op het eerste meettijdstip van 13 dagen bij 18°C al in de lineaire fase, die zich voortzette tot ongeveer 22 dagen. Daarna verminderte de groei gestaag, zodat er na 38 dagen niet of nauwelijks meer sprake was van enige toename in kropdrogestof (Fig. 3.3.1.A).



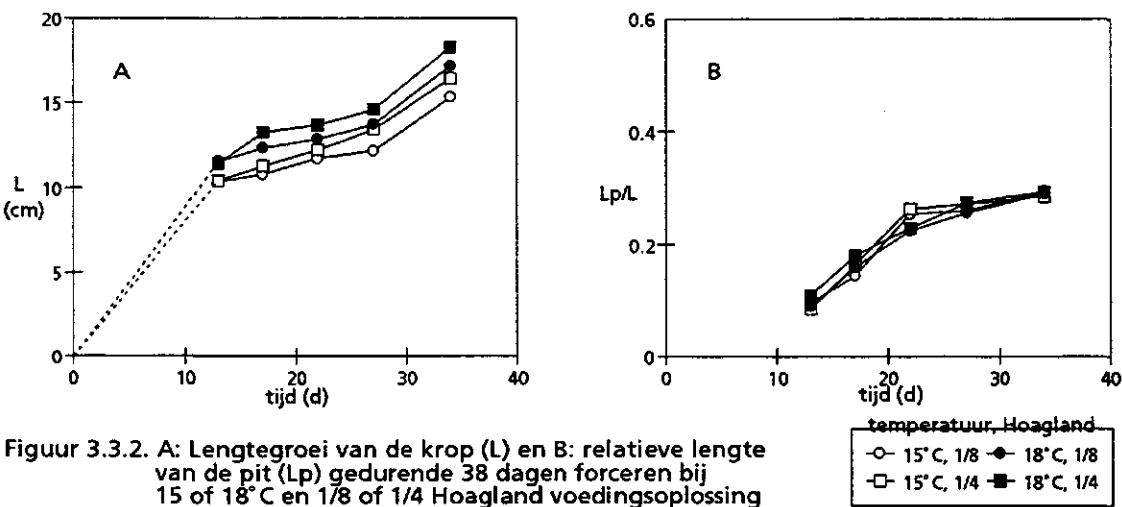
Figuur 3.3.1. Vorming van kropdrogestof (A) en -versestof (B) per g worteldrogestof, gedurende 38 dagen forceren bij 15 of 18°C en 1/8 of 1/4 Hoagland voedingsoplossing

Deze drie fasen worden beschreven door een sigmoïdale curve, die op de meetresultaten is 'gefit' om de invloed van temperatuur en voedingsoplossing op het verloop van de kropgroei te beschrijven door middel van twee variabelen, nl. een 'groeisnelheids'- en een 'remmings'-factor. De in de bovenstaande grafiek weergegeven curve voor de kropgroei bij 18°C en 1/8 Hoagland werd verkregen door alleen de remmings-factor van de curve voor de kropgroei bij 18°C en 1/4 Hoagland te verhogen, terwijl de curve voor de kropgroei bij 15°C en 1/4 Hoagland werd verkregen door alleen de groeisnelheids-factor te verlagen. De curve voor de

kropgroei bij 15°C en 1/8 Hoagland werd verkregen door de voorgenoemde aanpassingen te combineren. Dit betekent dat de kropgroei bij een lagere forceertemperatuur alleen trager verloopt, maar dat uiteindelijk dezelfde maximale produktie bereikt wordt, terwijl de kropgroei bij een lagere concentratie voedingsoplossing beperkt wordt en daardoor niet hetzelfde maximale niveau bereikt.

De toename van de versestof verliep tot 27 dagen forceren op dezelfde wijze als van de drogestof. Daarna bleef er echter een constante groei van de verse krop aanwezig, in tegenstelling tot bij de drogestof (Fig. 3.3.1.B).

In het begin van het forceren nam de lengte van de krop sterk toe, waardoor na 13 dagen al een lengte van meer dan 10 cm bereikt werd (Fig. 3.3.2.A). In de periode van 13 tot 27 dagen forceren was de lengtegroei daarentegen gering. Na 27 dagen nam de lengtegroei weer sterk toe. Merkwaardig was dat hierbij geen verschil in verloop bij 18 en 15°C waar te nemen was, maar dat de kroppen constant korter waren, zoals ook het geval was bij een lagere concentratie voedingsoplossing.

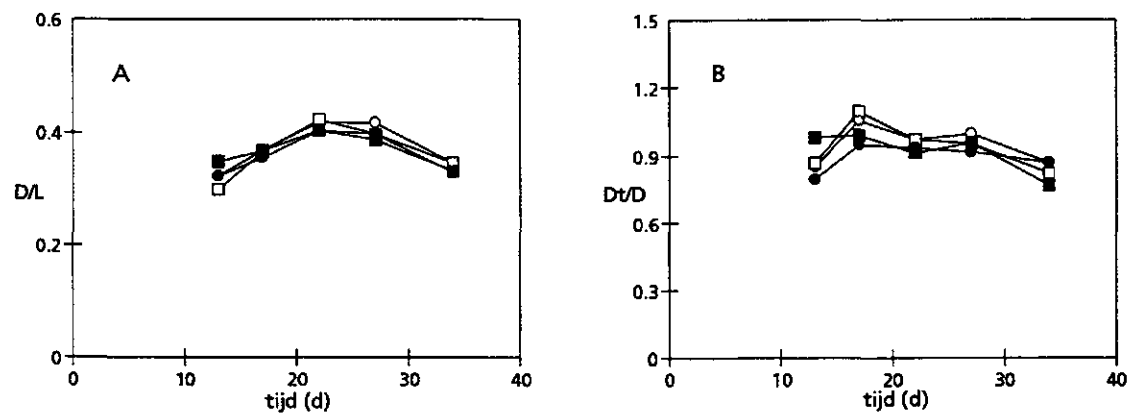


Figuur 3.3.2. A: Lengtegroei van de krop (L) en B: relatieve lengte van de pit (Lp) gedurende 38 dagen forceren bij 15 of 18°C en 1/8 of 1/4 Hoagland voedingsoplossing

Terwijl de lengtegroei van de krop in het begin groot was, bleef de pit juist klein, maar begon vervolgens sneller te groeien, zodat de relatieve pitlengte steeds groter werd (Fig. 3.3.2.B). Een invloed van forceertemperatuur of voedingsoplossing op de relatieve pitlengte was overigens niet waar te nemen.

In de periode van 13 tot 27 dagen forceren, wanneer de lengtegroei van de krop gering was kwam de kropgroei grotendeels ten goede aan de diameter met als gevolg dat de diameter/lengte-verhouding toenam (Fig. 3.3.3.A). Na 27 dagen forceren veranderde de diameter nauwelijks meer en nam de diameter/lengte verhouding van de krop weer af. In tegenstelling tot de lengtegroei leken de veranderingen in de diameter/lengte verhouding van de krop gedurende forceren bij 15°C wel iets achter te lopen vergeleken bij 18°C.

De topdiameter van de krop was na 17 dagen forceren meestal groter dan de middendiameter. Vervolgens nam de verhouding tussen top- en middendiameter wel wat af, maar van een echte sluiting van de krop was nauwelijks sprake (Fig. 3.3.3.B). Zelfs na 35 dagen forceren bedroeg de topdiameter nog ca. 80% van de middendiameter.



Figuur 3.3.3. A: Verhouding tussen diameter (D) en lengte (L) en B: verhouding tussen top- (Dt) en middendiameter (D) van de krop, gedurende 38 dagen forceren bij 15 of 18°C en 1/8 of 1/4 Hoagland voedingsoplossing

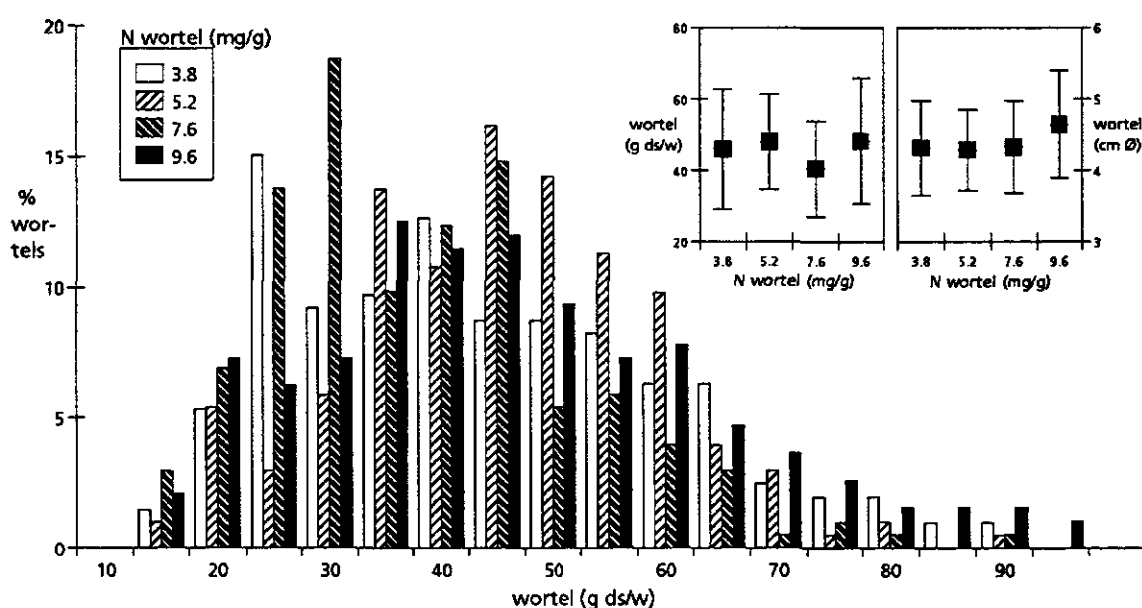
temperatuur, Hoagland  
○ 15°C, 1/8    ● 18°C, 1/8  
□ 15°C, 1/4    ■ 18°C, 1/4



### 3.4. Invloed van het stikstofgehalte van de wortel, de bewaarduur, de forceertemperatuur, en de concentratie van de voedingsoplossing op de kropproductie en -kwaliteit (experiment 4 & 5)

Uit de eerste twee experimenten (zie 3.1 en 3.2) bleek dat de wortelmaat een belangrijke factor voor het verloop van de kroggroei en het uiteindelijke forceerresultaat is. Aangezien de ook de forceerresultaten van wortels met dezelfde maat aanzienlijk kunnen verschillen, terwijl de forceercondities gelijk zijn, is het belangrijk te onderzoeken welke andere verschillen bij de wortels voorkomen en welke invloed ze op de kroggroei hebben. Om die reden is in deze experimenten onderzocht welke invloed het stikstofgehalte van de wortel heeft op het verloop van de kroggroei, en in welke mate dat afhankelijk is van de lengte van de bewaarperiode van de wortel. Hierbij is gekeken hoe de redistributie van de verschillende reservestoffen gedurende een lange forceerperiode plaatsvindt, en in welke mate de forceertemperatuur en concentratie van de voedingsoplossing de erbij betrokken processen beïnvloed.

In de experimenten is gebruik gemaakt van partijen 'Flash' wortels afkomstig van velden die verschillend met stikstof bemest waren: geen bemesting, 80 kg N/ha voor zaaien, 3x 50 kg N/ha tijdens teelt, of een combinatie van 80 kg N/ha voor zaaien en 3x 50 kg N/ha tijdens de teelt. De wortels van de verschillende velden hadden een stikstofgehalte van respectievelijk 3,8, 5,2, 7,6 en 9,6 mg N/g drogestof. Alle partijen wortels varieerden in maat, waarbij geen duidelijke verschillen in gemiddelde wortelmaat was waar te nemen, zowel wat betreft drooggewicht als diameter (zie Fig. 3.4.1).

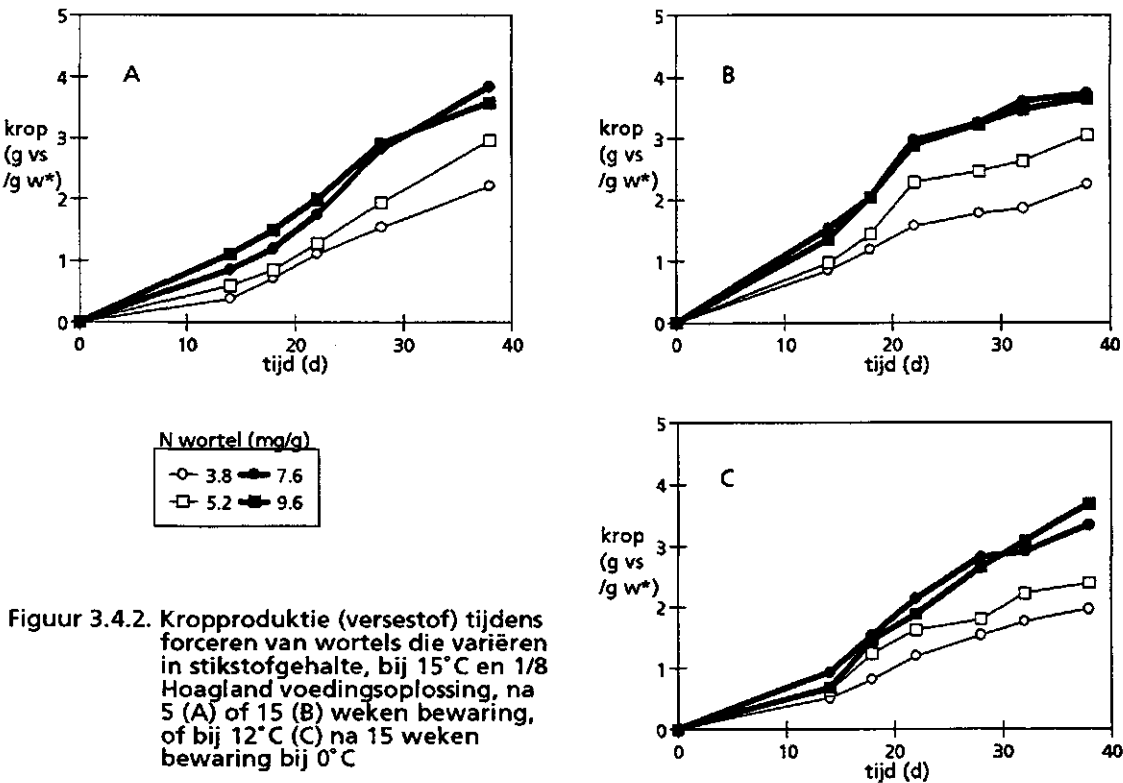


Figuur 3.4.1. Maatverdeling van de wortels in partijen met een verschillende stikstofgehalte

Na 5 weken koude bewaring van de wortels werd een deel van alle partijen wortels met een verschillend stikstofgehalte geforceerd bij een temperatuur van 18 of 15°C en een voedingsoplossing met een concentratie van 1/8 of 1/4 Hoagland. Het andere deel van de partijen werd onder dezelfde omstandigheden als ervoor bewaard en pas na 15 weken geforceerd bij 15 of 12°C en 1/8 of 1/4 Hoagland voedingsoplossing.

3.4.1. Kropproduktie

Tijdens forceren bij 15°C na 5 weken bewaring van de wortels verliep de kropgroei al vanaf het begin anders bij wortels met een verschillend stikstofgehalte. Na 14 dagen forceren was het versgewicht van de krop bij stikstofrijke wortels al groter dan bij stikstofarme wortels, en dit verschil in kropproduktie werd daarna alleen nog maar sterker, zodat na 28 dagen het versgewicht van de krop bij wortels met een stikstofgehalte van 7,6 mg/g ds twee maal zo groot was als bij wortels met een stikstofgehalte van 3,8 mg/g ds (Fig. 3.4.2.A).



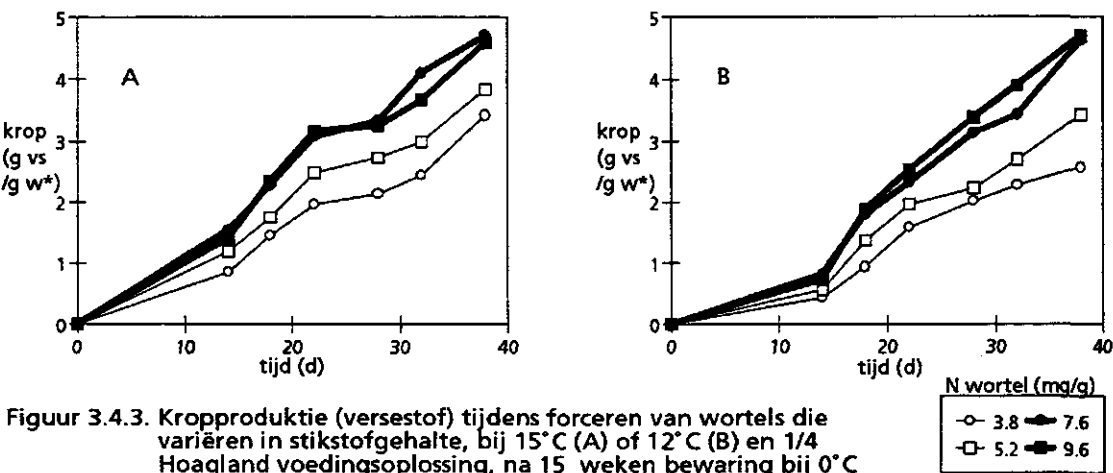
Figuur 3.4.2. Kropproduktie (versesstof) tijdens forceren van wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 15°C en 1/8 Hoagland voedingsoplossing, na 5 (A) of 15 (B) weken bewaring, of bij 12°C (C) na 15 weken bewaring bij 0°C

Er was echter nauwelijks verschil waar te nemen in kropproduktie tussen wortel met een stikstofgehalte van 7,6 en 9,6 mg/g ds. De kropgroei nam bij alle wortels nog toe na 14 dagen forceren en bleef vervolgens redelijk constant, zonder aan het einde van de forceerperiode van 38 dagen al te zijn afgenomen. Tijdens forceren bij 15°C na 15 weken bewaring verliep de kropgroei voor alle wortels sneller, maar de verschillen in kropproduktie tussen stikstofrijke en -arme wortels was vergelijkbaar met forceren bij dezelfde temperatuur na 5 weken bewaring (Fig. 3.4.2.B). Na 22 dagen werd de toename in versgewicht wat geringer, maar er bleef tot het einde van de forceerperiode kropgroei aanwezig.

Wanneer na 15 weken bewaring bij 12°C werd geforceerd verliep de kropgroei volgens het zelfde patroon als bij 15°C na 5 weken bewaring, wat betekent dat de snellere kropgroei na 15 weken bewaring kon worden gecompenseerd door een lagere forceertemperatuur (Fig. 3.4.2.C).

De kropgroei tijdens forceren bij 1/4 Hoagland voedingsoplossing was na 5 weken forceren vrijwel hetzelfde als bij 1/8 Hoagland, en er werd aan het einde van de forceerperiode dan ook geen hoger kropproduktie bereikt.

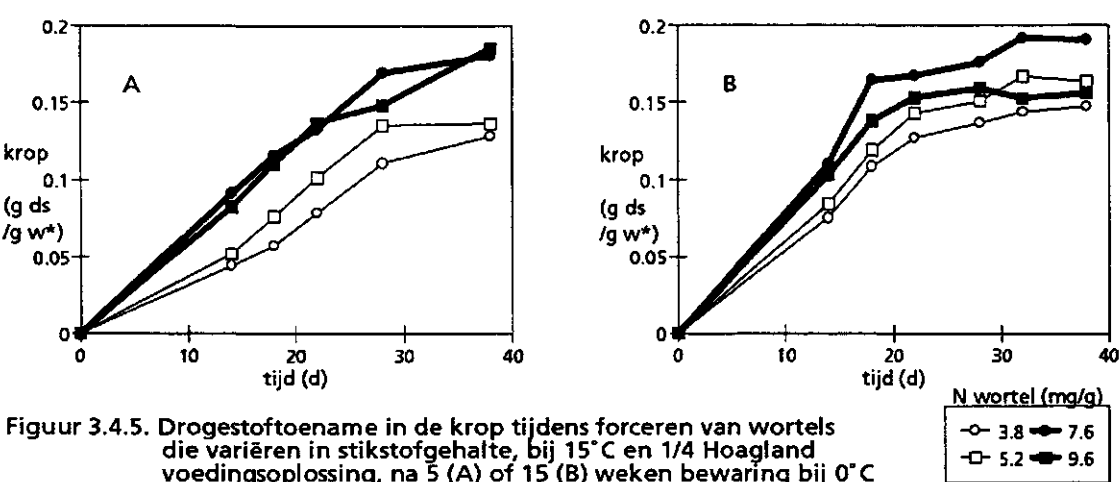
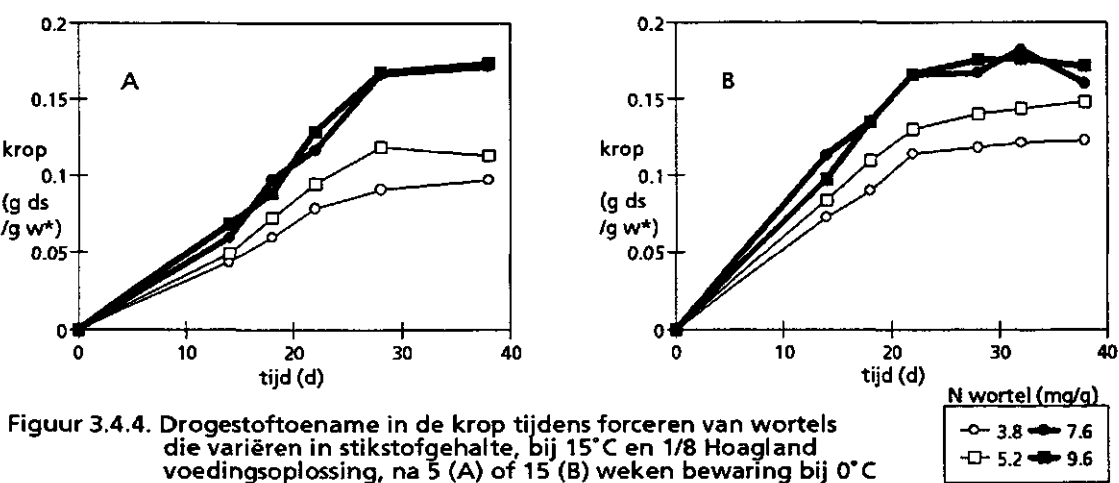
In tegenstelling hiermee veroorzaakte na 15 weken bewaring een hogere concentratie van de voedingsoplossing, tijdens forceren bij zowel 12 als 15°C, een sterkere groei aan het einde van de forceerperiode, terwijl tot 18 dagen nog nauwelijks een verschil was waar te nemen (Fig. 3.4.3).



Figuur 3.4.3. Kropproductie (versestof) tijdens forceren van wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 15°C (A) of 12°C (B) en 1/4 Hoagland voedingsoplossing, na 15 weken bewaring bij 0°C

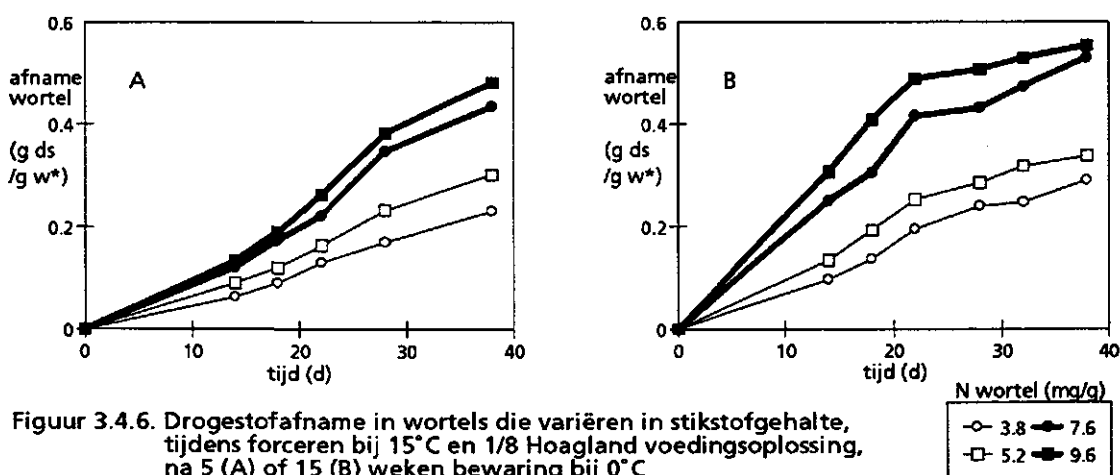
3.4.2. Drogestofredistributie

De hoeveelheid kropdrogestof die gevormd werd tijdens forceren nam wat geleidelijker toe dan het versgewicht, maar was eveneens al na 14 dagen forceren bij 15°C, na 5 weken bewaren, groter bij stikstofrijke dan bij -arme wortels (Fig. 3.4.4.A). De drogestofvorming zette zich met dezelfde snelheid voort tot 28 dagen, waarna er nauwelijks of geen drogestoftoename meer was waar te nemen. Deze drogestofredistributie verliep in hoger tempo tijdens forceren bij 15°C na 15 weken bewaring, zodat na 22 dagen al de maximale drogestofproductie bereikt werd, die bovendien hetzelfde was als bij forceren na 5 weken bewaring (Fig. 3.4.4.B). De drogestofvorming tijdens forceren bij 12°C na 15 weken bewaring vertoonde hetzelfde verloop als bij 15°C na 5 weken bewaring.



De drogestofvorming in de krop was niet hetzelfde tijdens forceren bij een hogere concentratie van de voedingsoplossing. In eerste instantie was de hoeveelheid drogestof die gevormd werd groter bij 1/4 dan bij 1/8 Hoagland, maar deze tendens zette zich bij stikstofrijke wortels niet voort. De maximale drogestofvorming na 28 dagen forceren bij 15°C na 5 weken bewaring, of na 22 dagen na 15 weken bewaring, was voor stikstofrijke wortels bij 1/4 Hoagland uiteindelijk hetzelfde als bij 1/8 Hoagland (Fig. 3.4.5). Doordat de grotere drogestofvorming bij stikstofarme

wortels op 1/4 Hoagland langer doorzette, lag het maximum dat uiteindelijk bereikt werd wel hoger dan bij 1/8 Hoagland, zodat de verschillen in drogestofvorming tussen stikstofrijke en -arme wortels bij een hogere concentratie van de voedingsoplossing geringer waren. Het verlies aan drogestof in de wortel was aanzienlijk groter dan de drogestofvorming in de krop. In de loop van de eerste 28 dagen van forceren bij 15°C, na 5 weken bewaring, nam de mate van drogestofafname steeds meer toe (Fig. 3.4.6.A). Na 28 dagen bleef de hoeveelheid drogestof in de wortel afnemen, hoewel bij de meeste wortels in een iets minder sterke mate. Tijdens forceren bij 15°C na 15 weken bewaren, deden zich dezelfde verschijnselen voor: ook nu bleef de hoeveelheid drogestof in de wortel afnemen na 22 dagen, wanneer de drogestofvorming in de krop een maximum had bereikt (Fig. 3.4.6.B).



Figuur 3.4.6. Drogestofafname in wortels die variëren in stikstofgehalte, tijdens forceren bij 15°C en 1/8 Hoagland voedingsoplossing, na 5 (A) of 15 (B) weken bewaring bij 0°C

Na 15 weken bewaring was het verschil in drogestofafname tussen stikstofrijke en -arme wortels duidelijk groter dan het verschil in drogestofvorming in de krop. Ook was de drogestofafname groter in wortels met een stikstofgehalte van 9.6 mg/g ds dan in wortels met een stikstofgehalte van 7.6 mg/g ds, terwijl de drogestofvorming in de krop tussen deze wortels niet verschilde.

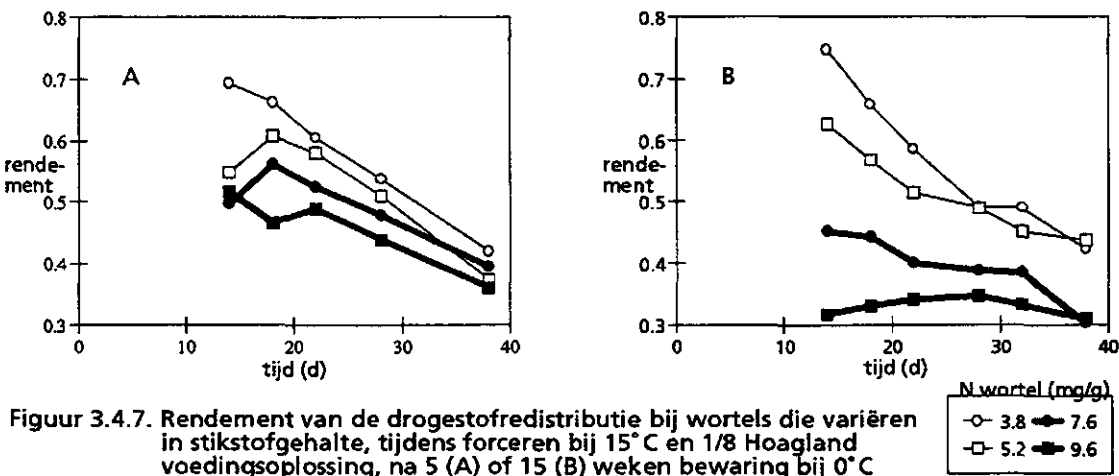
Het verschil in drogestofafname van de wortel bij forceren op 1/4 Hoagland in plaats van op 1/8 Hoagland voedingsoplossing was vergelijkbaar met het verschil dat optrad bij de drogestofvorming in de krop. Dat wil zeggen een grotere afname van drogestof in het begin van forceren, wat zich bij stikstofarme wortels wel, maar bij stikstofrijke wortels niet voortzette, zodat uiteindelijk de verschillen in drogestofafname van de wortel tussen stikstofrijke en -arme wortels bij 1/4 Hoagland geringer waren dan bij 1/8 Hoagland.

Dat ook na 5 weken bewaring het verschil in drogestofafname tussen stikstofrijke en -arme wortels groter was dan de verschillen in drogestofvorming, blijkt uit het rendement van de drogestofredistributie: de hoeveelheid kropdrogestof die gevormd wordt per hoeveelheid drogestof die uit de wortel verdwijnt.

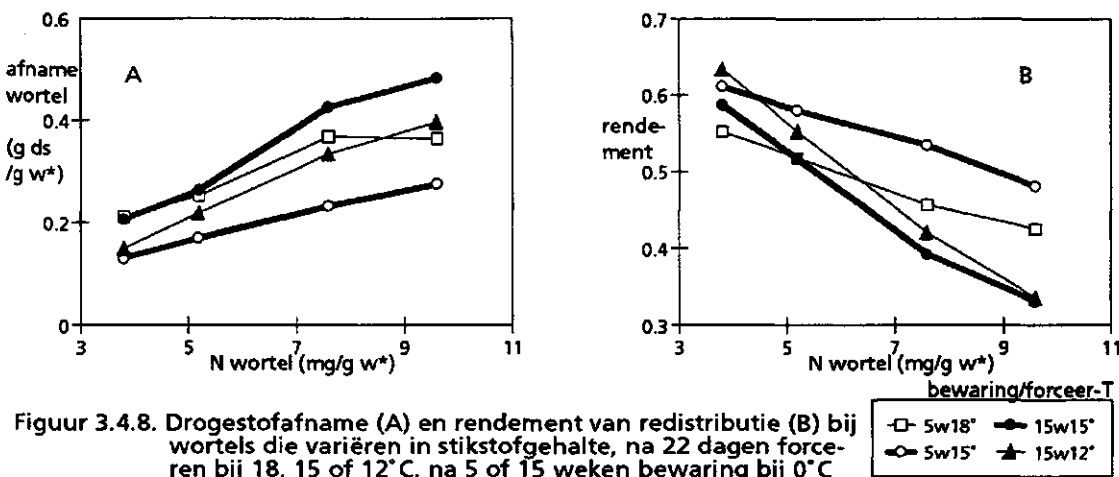
In het begin van forceren was het rendement van drogestofredistributie relatief hoog, maar nam sterk af naarmate langer geforceerd wordt. Het rendement was hoger bij stikstofarme dan bij stikstofrijke wortels. Na 14 dagen forceren van wortels met een stikstofgehalte van 3,8 mg/g ds bij 15°C, na 5 weken bewaring, werd 70% van de drogestof die uit de wortel was verdwenen in de krop teruggevonden, terwijl dat bij wortels met een stikstofgehalte van 9,6 mg/g ds slechts 50% was (Fig. 3.4.7.A).

Na 38 dagen forceren was het rendement gedaald tot ca. 40 en 35% bij wortels met een stikstofgehalte van resp. 3,8 en 9,6 mg/g ds. Naarmate het forceren vorderde werd het

verschil in rendement tussen stikstofrijke en -arme wortels dus kleiner. Deze verschijnselen deden zich tijdens forceren bij 15°C na 15 weken bewaring in extreme mate voor (Fig. 3.4.7.B). Hoewel het rendement van drogestofredistributie bij stikstofarme wortels na 14 dagen forceren bij 15°C ook nu (ruim) 70% bedroeg, was dat voor stikstofrijke wortels nog slechts 30%. Na 38 dagen was het rendement bij stikstofarme wortels gedaald tot 45% en was bij stikstofrijke wortels nog steeds 30%.



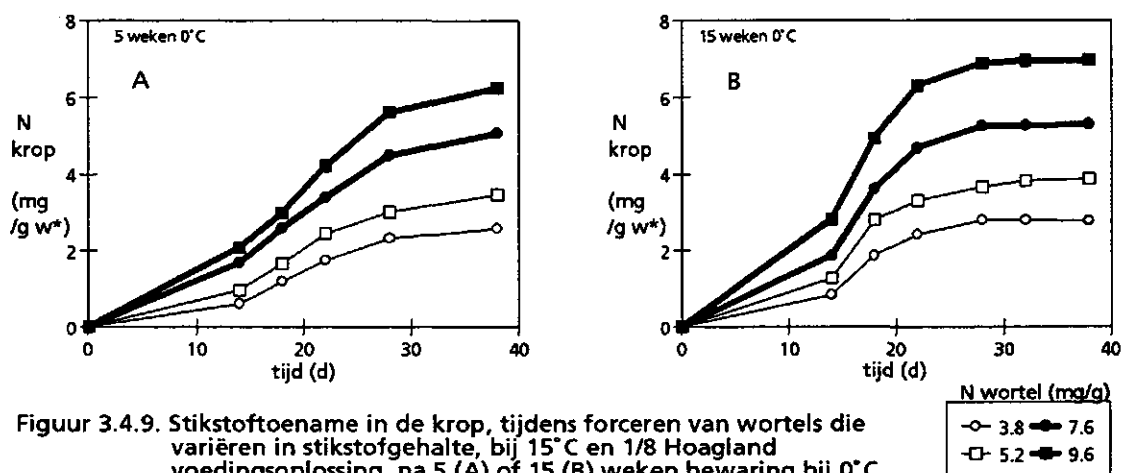
Wanneer we de redistributie van drogestof op een vast tijdstip van 22 dagen forceren bekijken, zien we dat in de wortel de relatie tussen drogestofafname en het stikstofgehalte niet hetzelfde is onder verschillende condities. Na een langere bewaarperiode is de drogestofafname in alle, maar vooral de stikstofrijke wortels groter (Fig. 3.4.8.A). Wanneer na een lange bewaarperiode een lagere forceertemperatuur wordt aangehouden is de relatie tussen drogestofafname en stikstofgehalte van de wortel niet hetzelfde als bij een hogere temperatuur na een korte bewaarperiode. Het rendement van de drogestofredistributie is lager bij stikstofrijke wortels en ook deze relatie is sterker na een langere bewaarperiode van de wortels (Fig. 3.4.8.B). Een andere forceertemperatuur veroorzaakt een parallelle verschuiving van het rendement bij verschillende stikstofgehaltenes, dat wil zeggen een hogere temperatuur levert bij alle stikstofgehaltenes eenzelfde verlaging van het rendement op, zowel bij een lange als een korte bewaarperiode van de wortels.



### 3.4.3. Stikstofredistributie

Een deel van de redistributie van drogestof uit de wortel naar de krop betrof stikstofverbindingen. De hoeveelheid stikstof die per gram worteldrogestof naar de krop getransporteerd werd was groter bij wortel met een hoger stikstofgehalte.

Tijdens forceren bij 15°C en 1/8 Hoagland voedingsoplossing na 15 weken bewaring, nam de hoeveelheid stikstof in de krop geleidelijk toe, volgens dezelfde tendens als de drogestoftoename, hoewel in het begin het transport van stikstof naar de krop relatief iets minder was (Fig. 3.4.9.A). Ook het stikstoftransport verminderde na 28 dagen forceren, maar een maximum was dan nog niet bereikt. Dit was wel het geval wanneer geforceerd werd na 15 weken bewaring (Fig. 3.4.9.B).

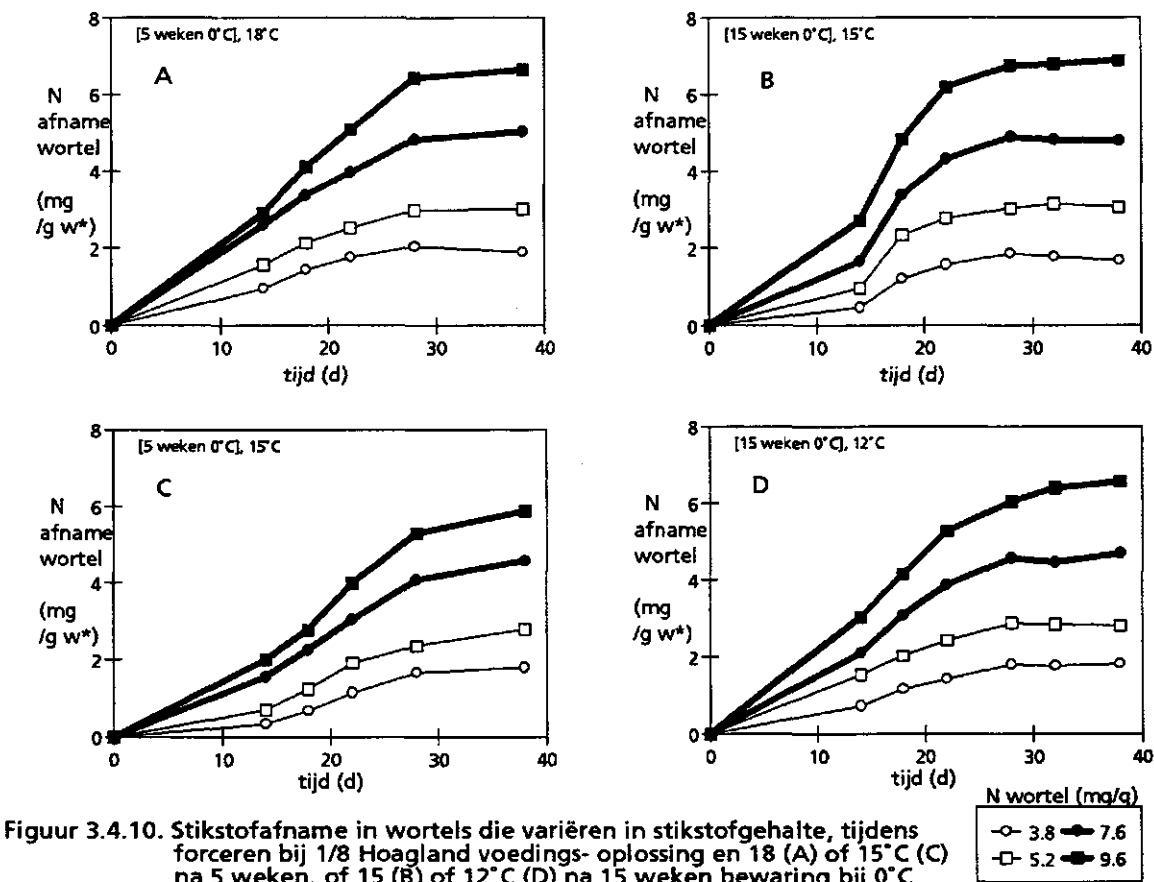


Na 5 weken bewaring was tijdens het forceren het verschil in stikstoftransport naar de krop tussen stikstofrijke en -arme wortels rechtevenredig met het stikstofgehalte van de wortel, maar na 15 weken bewaring was het verschil nog groter geworden. Terwijl het stikstoftransport bij stikstofarme wortels ongeveer hetzelfde bleef, was het toegenomen bij stikstofrijke wortels.

Het patroon van de stikstofafname in de wortel was vrijwel gelijk aan dat van de toename in de krop, zowel tijdens forceren na 5 als na 15 weken bewaring. De verschillen tussen stikstofrijke en -arme wortels waren alleen nog wat groter (Fig. 3.4.10). Bij wortels met een 2,5x zo hoog stikstofgehalte was de stikstofafname tijdens forceren bij 15°C na 5 weken bewaring 3 tot 3,5x, en na 15 weken bijna 4x zo groot, terwijl de totale drogestofredistributie slechts 2x zo groot was (Fig. 3.4.10.B en C).

Evenals bij de drogestofredistributie had de forceertemperatuur alleen invloed op de snelheid van de stikstofredistributie. Forceren bij 18°C in plaats van 15°C, na 5 weken bewaring, veroorzaakte een grotere afname van stikstof in de wortel, hoofdzakelijk in het begin van forceren, maar na 28 dagen leek al wel het maximum bereikt te zijn (Fig. 3.4.10.A/B). Het eerder bereiken van hetzelfde maximum was overigens duidelijker waarneembaar tijdens forceren bij 15°C in vergelijking met 12°C, na 15 weken bewaring (Fig. 3.4.10.C/D). Ook hier was de stikstofafname voor het bereiken van het maximum hoger bij een hogere forceertemperatuur, behalve op het eerste meettijdstip van 14 dagen.

Forceren op 1/4 Hoagland had geen effect op de stikstofredistributie vanuit de wortel.



Figuur 3.4.10. Stikstofafname in wortels die variëren in stikstofgehalte, tijdens forceren bij 1/8 Hoagland voedings- oplossing en 18 (A) of 15°C (C) na 5 weken, of 15 (B) of 12°C (D) na 15 weken bewaring bij 0°C

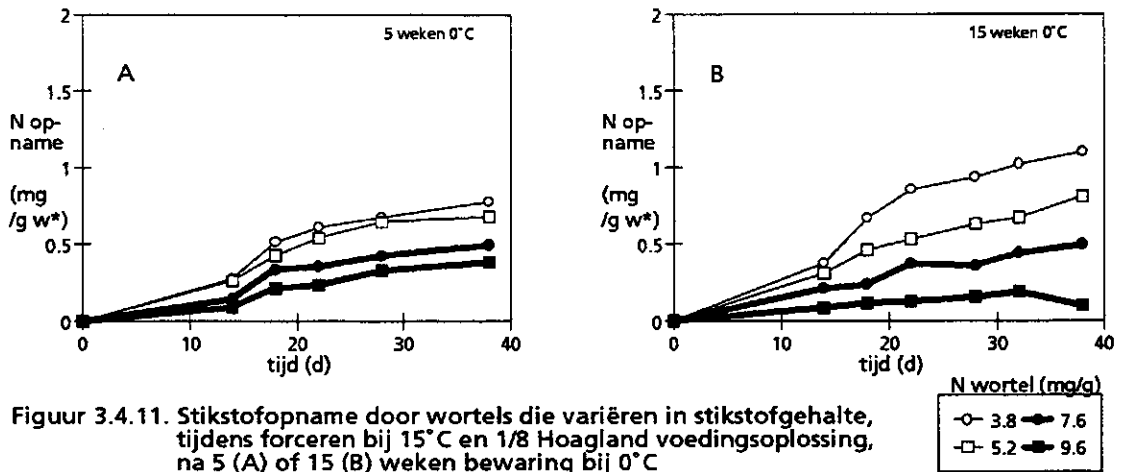
De resultaten waren gelijk aan die bij 1/8 Hoagland, met uitzondering van een hogere stikstofafname in alle wortels op het hiervoor genoemde eerste meetpunt bij 15°C na 15 weken bewaring.

Dat de verschillen in het stikstoftransport naar de krop tussen stikstofrijke en -arme wortels minder groot waren dan in de stikstofafname in de wortel werd veroorzaakt door een compenserende opname van stikstof uit de voedingsoplossing. Tijdens forceren bij 15°C op 1/8 Hoagland voedingsoplossing na 5 weken bewaring werd uiteindelijk 2x zoveel stikstof uit de voedingsoplossing opgenomen door stikstofarme dan door -rijke wortels (zie Fig. 3.4.11.A). Na 15 weken bewaring was de stikstofopname bij stikstofarme wortels tijdens forceren sterk toegenomen, terwijl die bij stikstofrijke wortels juist aanzienlijk minder was (zie Fig. 3.4.11.B).

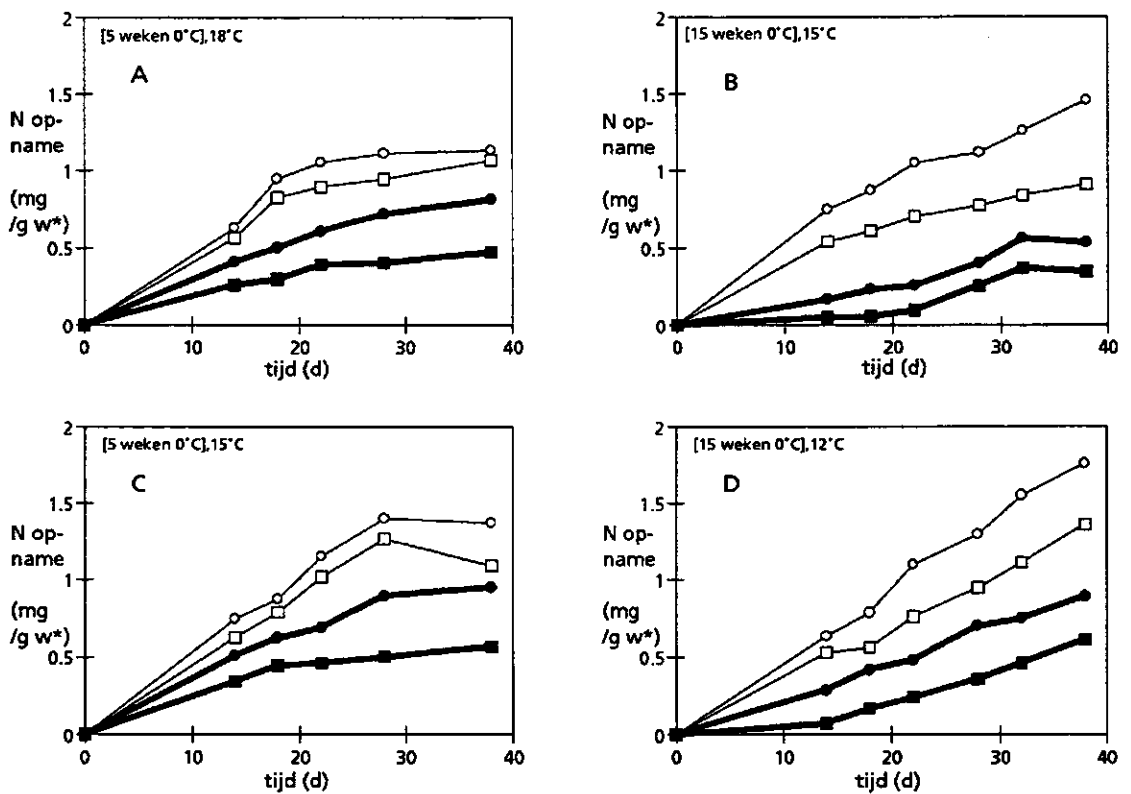
Wanneer na 5 weken bewaring geforceerd werd bij 15°C op 1/4 Hoagland voedingsoplossing was de stikstofopname bij alle wortels hoger, maar vooral bij stikstofarme wortels (Fig. 3.4.12.B). Na 15 weken bewaring daarentegen, was het effect van de concentratie van de voedingsoplossing op de stikstofopname zeer gering en bovendien alleen bij stikstofarme wortels waar te nemen (Fig. 3.4.12.C).

Een hogere forceertemperatuur had juist een geringere opname van stikstof uit de voedingsoplossing tot gevolg (Fig. 3.4.12.A/B en C/D), in tegenstelling tot de grotere redistributie van stikstof uit de wortel. Terwijl de verschillen in stikstofredistributie hoofdzakelijk in het begin van het forceren te zien waren, werd de stikstofopname bij een hogere temperatuur pas in een later forceerstadium groter, vooral bij stikstofarme wortels.





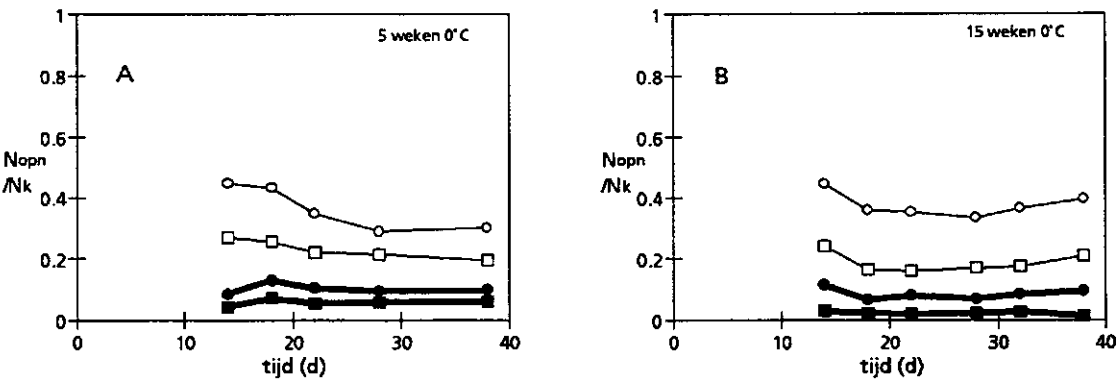
Figuur 3.4.11. Stikstofopname door wortels die variëren in stikstofgehalte, tijdens forceren bij 15°C en 1/8 Hoagland voedingsoplossing, na 5 (A) of 15 (B) weken bewaring bij 0°C



Figuur 3.4.12. Stikstofopname door wortels die variëren in stikstofgehalte, tijdens forceren bij 1/4 Hoagland voedingsoplossing en 18 (A) of 15°C (C) na 5 weken, of 15 (B) of 12°C (D) na 15 weken bewaring bij 0°C.

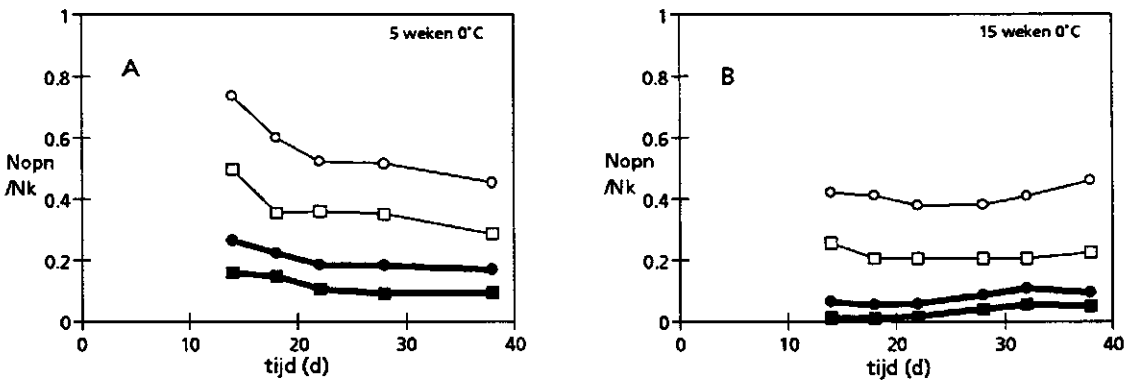
Ondanks de veel grotere stikstofopname door stikstofarme dan door -rijke wortels waren de verschillen in de hoeveelheid stikstof in de krop echter niet veel kleiner dan de verschillen in de stikstofafname in de wortel. Dit komt doordat de opname toch relatief gering was ten opzichte van de redistributie vanuit de wortel.

Zowel na 5 als na 15 weken bewaring was het aandeel van opname uit een 1/8 Hoagland voedingsoplossing op het totale stikstoftransport naar de krop na 20 tot 30 dagen nauwelijks hoger dan 40% bij stikstofarme wortels en minder dan 5% bij stikstofrijke wortels (Fig. 3.4.13).



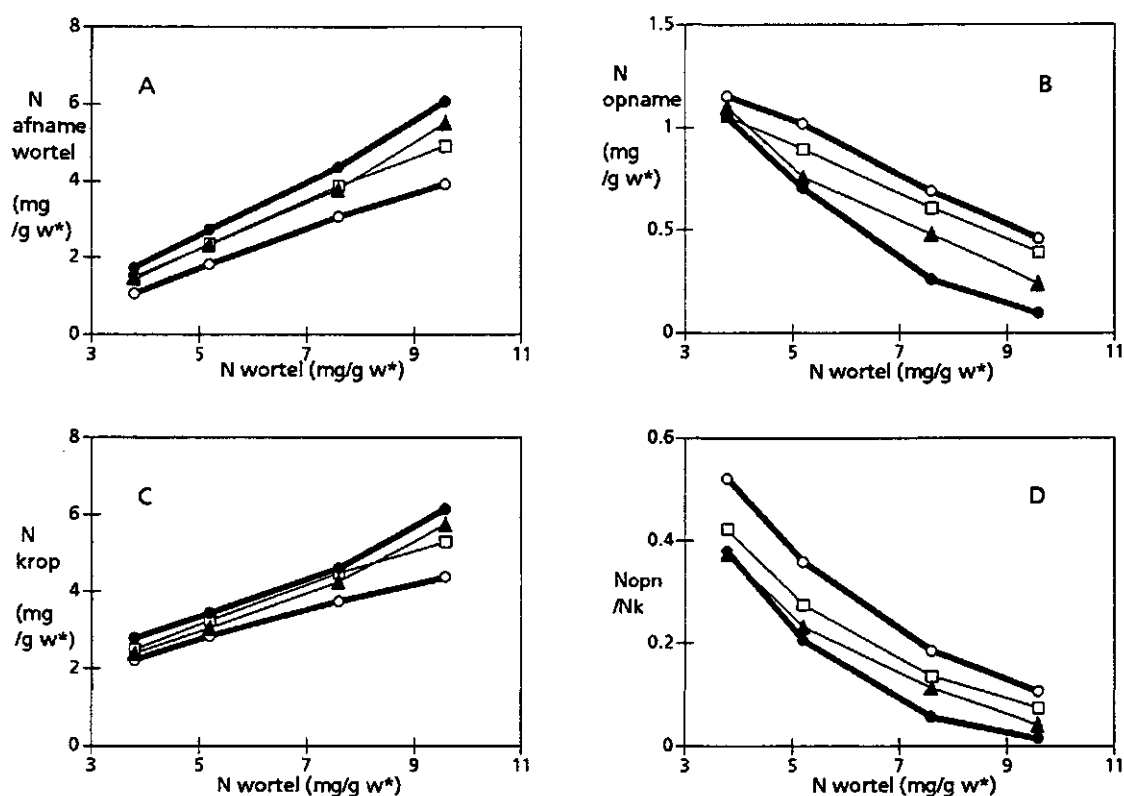
Figuur 3.4.13. Aandeel van de opname ( $N_{opn}$ ) in het stikstoftransport naar de krop ( $N_k$ ) tijdens forceren van wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 15°C en 1/8 Hoagland voedingsoplossing, na 5 (A) of 15 (B) weken bewaring bij 0°C

Forceren op 1/4 Hoagland voedingsoplossing had na 15 weken bewaring nauwelijks effect op de opname van stikstof en aangezien de stikstofredistributie hetzelfde was bleef het aandeel van de stikstofopname op het totale stikstoftransport hetzelfde. Na 5 weken bewaring was de opname wel duidelijk groter op 1/4 Hoagland, maar de toename van het aandeel van de opname op het totale stikstoftransport nam bij stikstofarme wortels slechts toe tot ca. 50% en bij stikstofrijke wortels tot ca. 10%.

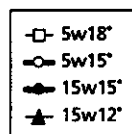


Figuur 3.4.14. Aandeel van de opname ( $N_{opn}$ ) in het stikstoftransport naar de krop ( $N_k$ ) tijdens forceren van wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 15°C en 1/4 Hoagland voedingsoplossing, na 5 (A) of 15 (B) weken bewaring bij 0°C

Wanneer na 22 dagen forceren gekeken wordt naar de relatie tussen stikstofredistributie vanuit de wortel en het stikstofgehalte van de wortel dan is duidelijk het lineaire verband zichtbaar (Fig. 3.4.15.A). Een langere bewaarperiode van de wortels heeft bij alle wortels een grotere redistributie tot gevolg. Een lagere forceertemperatuur veroorzaakt een geringere redistributie. De stikstofopname uit de voedingsoplossing vertoont een omgekeerd verband met het stikstofgehalte van de wortel, de bewaarduur en de forceertemperatuur (Fig. 3.4.15.B). De stikstofopname staat echter niet in verhouding tot de redistributie, waardoor de totale hoeveelheid stikstof die naar de krop wordt getransporteerd dezelfde, zij het iets minder sterke verbanden vertoont met het stikstofgehalte van de wortel, de bewaarduur en de forceertemperatuur, als de redistributie uit de wortel (Fig. 3.4.15.C).



Figuur 3.4.15. A: Stikstofafname in de wortel en B: -opname uit de voedingsoplossing, C: totaal stikstoftransport naar de krop en D: het aandeel van de opname ( $N_{opn}$ ) aan het transport ( $N_k$ ), in relatie tot het stikstofgehalte van de wortel, na 22 dagen forceren op 1/4 Hoagland voedingsoplossing bij 18 of 15°C na 5 weken bewaring, of bij 15 of 12°C na 15 weken bewaring bij 0°C

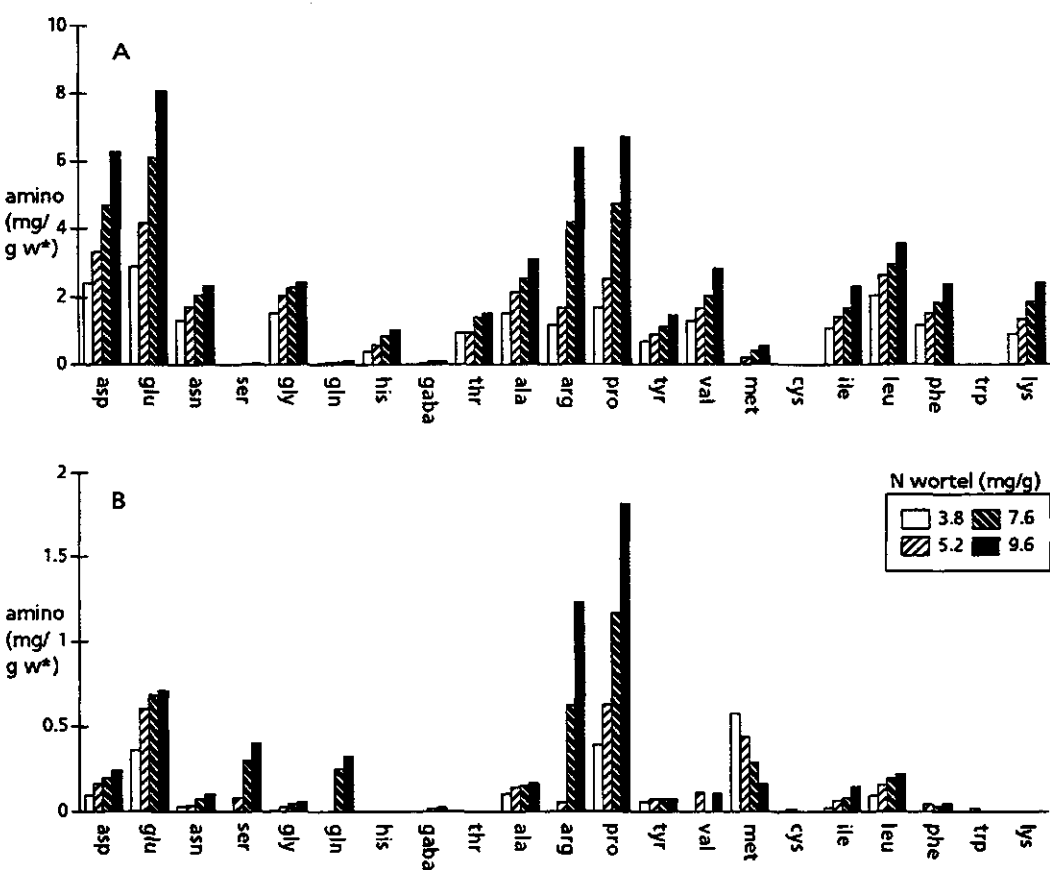


Reeds op het moment van rooien van de wortels was vrijwel alle in de wortel aanwezige stikstof ingebouwd in organische verbindingen als aminozuren en hoofdzakelijk eiwitten. Minder dan 1% was aanwezig in de vorm van nitraat. Na 15 weken bewaring werd de aminozuursamenstelling bepaald van de wortels. Het grootste deel, ruim 90 %, van de aminozuren was nog in eiwitten gebonden. De hoeveelheid vrije aminozuren was niet alleen absoluut, maar ook relatief groter in stikstofrijke wortels. In stikstofarme wortels bevond 7,7% van de aminozuren zich in ongebonden toestand, terwijl dat in stikstofrijke wortels 9,9% was. De samenstelling van aminozuren in de eiwitten was redelijk gelijk in de verschillende wortels (Fig. 3.4.16.A). Het gehalte aan aminozuren als asparaginezuur (asp), glutaminezuur (glu) en vooral arginine (arg) en proline (pro), was hoger in eiwitten van stikstofrijke wortels. Deze aminozuren vormden ca. 51% (arg, pro: 24%) van de eiwitten in stikstofrijke, en 39% (arg, pro: 14%) in stikstofarme wortels. Andere aminozuren, zoals asparagine (asn), glycine (gly) en leucine (leu), waren juist in iets mindere mate aanwezig in eiwitten van stikstofrijke (16%) dan van stikstofarme (23%) wortels (Tabel 3.4.1.A).

De samenstelling van de vrije aminozuren was duidelijk verschillend van de eiwitten. Aminozuren die wel in de eiwitten werden aangetroffen waren niet of nauwelijks in vrije vorm aanwezig, zoals asparagine (asn), glycine (gly), histidine (his), threonine (thr), tyrosine (tyr), valine (val), isoleucine (ile), phenylalanine (phe), lysine (lys) en in mindere mate alanine (ala) en leucine (leu).

Daarentegen waren er ook aminozuren in vrije vorm aanwezig die niet of nauwelijks in de eiwitten voorkwamen, zoals serine (ser), glutamine (gln) en vooral methionine (met). Ook in

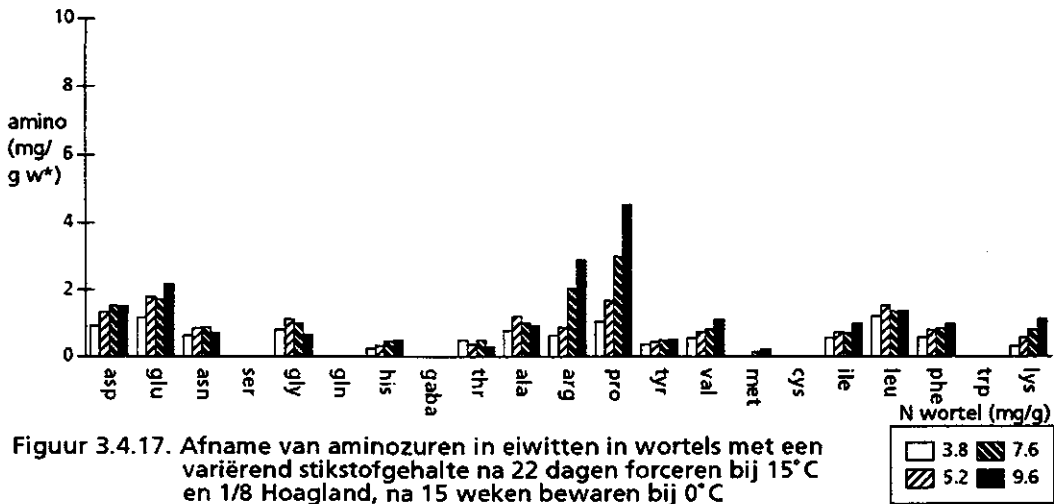
de vrije vorm werd het grootste deel bepaald door slechts enkele, ook in de eiwitten veel voorkomende aminozuren, namelijk asparaginezuur, glutaminezuur, arginine en proline (Fig. 3.4.16.B). Nog sterker dan in de eiwitten was het gehalte aan arginine plus proline in stikstofrijke (52%) en -arme (23%) wortels bepalend voor het verschil in de hoeveelheid vrije aminozuren. Serine en glutamine, die niet in de eiwitten voorkwamen, vormden in stikstofrijke wortels 14% van de vrije aminozuren, terwijl ze in de stikstofarme wortels niet voorkwamen. In tegenstelling met in de eiwitten was het gehalte aan asparaginezuur plus glutaminezuur in de vrije aminozuren juist wat lager in stikstofrijke (16%) dan in stikstofarme (29%) wortels. Merkwaardig was dat methionine, dat slechts in geringe mate in de eiwitten aanwezig was, in veel sterkere mate in de vrije aminozuren van stikstofarme (33%) dan van stikstofrijke (3%) wortels voorkwam (Tabel 3.4.1.C). De totale hoeveelheid vrije aminozuren in de wortels bestond voor ruim 80% uit de voorgenoemde zeven aminozuren.



Figuur 3.4.16. Aminozuur-samenstelling van A: eiwitten en B: vrije aminozuren in wortels met een variërend stikstofgehalte na 15 weken bewaren bij 0°C

Na 22 dagen forceren bij 15°C op 1/8 Hoagland was 65% van de vrije aminozuren uit stikstofarme tot 80% uit stikstofrijke wortels verdwenen. De afname van de afzonderlijke aminozuren was vrijwel in alle wortels in verhouding tot het gehalte (Tabel 3.4.1.D). Dit gold niet voor de aminozuursamenstelling van de afname in eiwitten (Fig. 3.4.17). Ook de eiwitafname was hoger in stikstofrijke wortels, ook procentueel gezien. De afname van eiwitten was 57% in stikstofarme en 69% in stikstofrijke wortels. De afname van eiwitten was wel in grote mate (ca. 65%) te wijten aan de afname van de zeven in eiwitten meest voorkomende aminozuren: asparaginezuur, glutaminezuur, arginine,

proline, asparagine, glycine en leucine, en de mate waarin deze aminozuren in de eiwitten afnamen was eveneens redelijk in verhouding tot hun gehalte bij de verschillende wortels (Tabel 3.4.1.B). De totale hoeveelheid aminozuren die tijdens forceren uit de wortels verdween, was door de afbraak van eiwitten dus hoger dan alleen de afname van de bij inzet aanwezige vrije aminozuren. In alle wortels werd van de reeds aanwezige plus de vrijgekomen aminozuren ruim 95% naar de krop getransporteerd (Tabel 3.4.1.E).



Figuur 3.4.17. Afname van aminozuren in eiwitten in wortels met een variërend stikstofgehalte na 22 dagen forceren bij 15°C en 1/8 Hoagland, na 15 weken bewaren bij 0°C

Aangezien de redistributie van stikstof plaatsvond door middel van aminozuren werd per gram wortel bij redistributie 2,2 mg stikstof uit stikstofarme en 6,75 mg uit stikstofrijke wortels in 22 dagen forceren bij 15°C en 1/8 Hoagland na 15 weken bewaring bij 0°C, in feite ca. 14 mg respectievelijk 42 mg aminozuur getransporteerd. Op een totale drogestofafname van 180 mg uit stikstofarme en 500 mg per gram wortel uit stikstofrijke wortels, kwam dat in beide gevallen overeen met een 8% aandeel van stikstofverbindingen in de totale drogestofafname uit de wortel.

Tabel 3.4.1. Gehalte (in %) van enkele belangrijke aminozuren in A: eiwitten en C: vrije aminozuren van wortels met een variërend stikstofgehalte (mg/g ds), en hun aandeel (in %) in de afname van B: eiwit en D, E: vrij aminozuur , na 22 dagen forceren bij 15°C en 1/8 Hoagland, na 15 weken bewaren bij 0°C

A	eiwit-aminozuren		subtot asp,glu arg,pro asn,gly,leu				
	3.8	92.3	100	61.9	25.1	13.7	23.1
	5.2	91.5	100	62.4	25.9	14.5	22.0
	7.6	90.7	100	65.9	26.4	21.8	17.8
	9.6	90.1	100	66.7	26.7	24.4	15.5
B	afname						
	3.8	100 57.3	100	63.1	22.3	15.7	25.1
	5.2	100 61.8	100	63.3	23.3	16.4	23.5
	7.6	100 65.5	100	66.0	23.3	24.6	18.1
	9.6	100 69.2	100	66.8	24.2	27.6	14.9
C	vrije aminozuren		subtot asp,glu arg,pro ser,gln met				
	3.8	7.7	100	84.4	29.2	22.6	0.0 32.7
	5.2	8.5	100	78.5	28.4	30.5	3.1 16.5
	7.6	9.3	100	82.7	21.0	42.4	12.3 7.0
	9.6	9.9	100	84.5	16.4	51.7	13.5 2.9
D	afname						
	3.8	100 65.0	100	88.8	28.3	20.9	0.0 39.5
	5.2	100 73.7	100	81.6	29.3	30.2	3.8 18.3
	7.6	100 77.2	100	85.8	22.2	43.6	12.1 8.0
	9.6	100 80.4	100	85.4	17.4	53.3	11.0 3.6
E	totaal vrije amz. afname		subtot asp,glu arg,pro asn,gly,le ser,gln met				
	3.8	100 95.5	100	62.5	21.8	15.5	21.9 0.0 3.3
	5.2	100 96.5	100	62.8	23.1	17.2	20.4 0.4 1.8
	7.6	100 96.9	100	66.1	22.5	25.8	15.6 1.3 0.8
	9.6	100 97.3	100	67.0	22.8	29.7	12.9 1.2 0.4

3.4.4. Koolhydraatmetabolisme

Hoewel de redistributie van stikstof in de vorm van aminozuren belangrijke verschillen vertoonde tussen stikstofrijke en -arme wortels, die bovendien redelijk in verhouding waren met de verschillen in totale drogestofafname uit de wortel, vormde het niet het grootste deel van de drogestofafname. Zoals in de vorige paragraaf (zie 3.4.3) werd beschreven had tijdens forceren bij 15°C na 15 weken bewaring 8% van de drogestofafname in alle wortels betrekking op stikstofverbindingen. Ook het aandeel van koolhydraten in de drogestofafname was hetzelfde in zowel stikstofrijke als -arme wortels, maar bedroeg liefst 85% van de totale drogestofafname. Doordat het grootste deel van de drogestofafname uit de wortels uit koolhydraten bestond, en bovendien het stikstofaandeel redelijk constant was, kwamen de grafieken van de koolhydraatafname tijdens forceren (en dus ook het verloop in de tijd) vrijwel overeen met die van de drogestofafname, zodat deze hier niet verder worden besproken. Hoewel het aandeel van koolhydraten in de drogestof die daadwerkelijk als 'bouwstof' voor de krop werd gebruikt minder was, doordat een deel werd verbruikt voor respiratie, worden ook de grafieken die betrekking hebben op het aandeel van koolhydraten in de vorming van kropdrogestof hier niet verder besproken, daar deze toch dezelfde tendens vertoonden als de grafieken van de vorming van kropdrogestof. Hiervoor wordt verwezen naar 3.4.2 en Fig. 3.4.4 t/m Fig. 3.4.8.

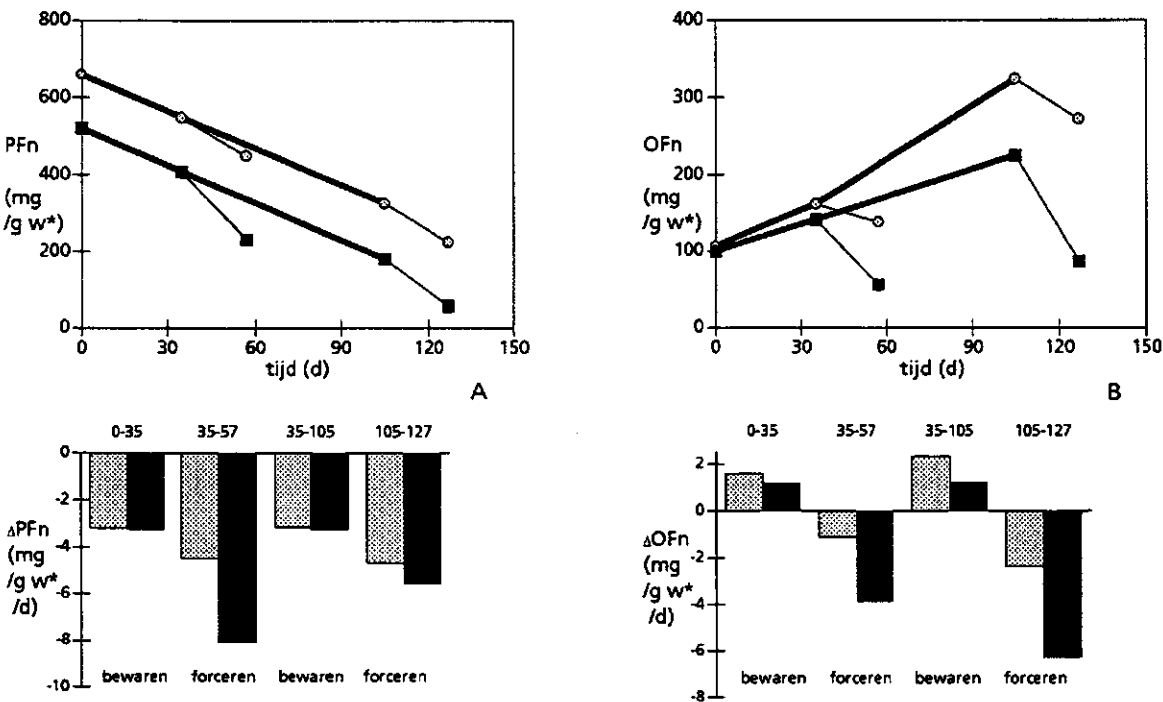
Tabel 3.4.2. Koolhydraat gehalte en samenstelling (mg/g ds) van wortels met een stikstofgehalte van 3,8 of 9,6 mg/g ds, tijdens 5 of 15 weken bewaring bij 0° C en de daaropvolgende 22 dagen forceren bij 15° C en 1/4 Hoagland

bewaring forceren	(weken) (dagen)	0 -		5 -		15 -		5 22		15 22	
stikstof gehalte		3.8	9.6	3.8	9.6	3.8	9.6	3.8	9.6	3.8	9.6
koolhydraat gehalte		836	657	836	655	835	657	733	430	650	259
fructaan	(Fn)	766	622	710	550	651	406	587	287	496	145
polyfructaan	(PFn)	659	522	548	409	327	181	449	231	224	58
oligofructaan	(OFn)	107	100	162	141	324	225	138	56	272	87
hexose+sach. (HS)		70	35	126	105	184	251	146	143	154	114
fructose	(F)	32	10	64	34	102	102	71	62	75	21
glucose	(G)	10	5	12	10	7	2	20	19	12	7
sacharose	(S)	28	20	50	61	75	147	54	62	67	86
koolhydraat afname								104	225	185	398

De afname van stikstofverbindingen uit zowel stikstofrijke als -arme wortels was in verhouding tot het stikstofgehalte van de wortel. Hoewel ook de koolhydraatafname in dezelfde verhouding tot de stikstofafname in alle wortels plaatsvond, was het koolhydraatgehalte in stikstofrijke en -arme wortels wel degelijk verschillend. In vergelijking tot de 25 en 60 mg

organische stikstofverbindingen per gram drogestof, was het gehalte aan koolhydraten 840 en 660 mg/g drogestof in respectievelijk stikstofarme en stikstofrijke wortels.

Direct na rooien was het grootste gedeelte van de koolhydraten aanwezig in de vorm van sterk gepolymeriseerd inuline. Van de totale hoeveelheid koolhydraten had 80% een polymerisatiegraad (DP) van 9 hexose-eenheden of meer, wat hierna verder polyfructaan genoemd zal worden, en was ca. 15% oligofructaan met een DP tussen 3 en 8 hexose-eenheden. Dit gold voor zowel stikstofrijke als -arme wortels (Tabel 3.4.2). Het gehalte aan sacharose was slechts weinig hoger in stikstofarme wortels, maar het gehalte aan hexose was bijna 3x zo hoog als in stikstofrijke wortels.

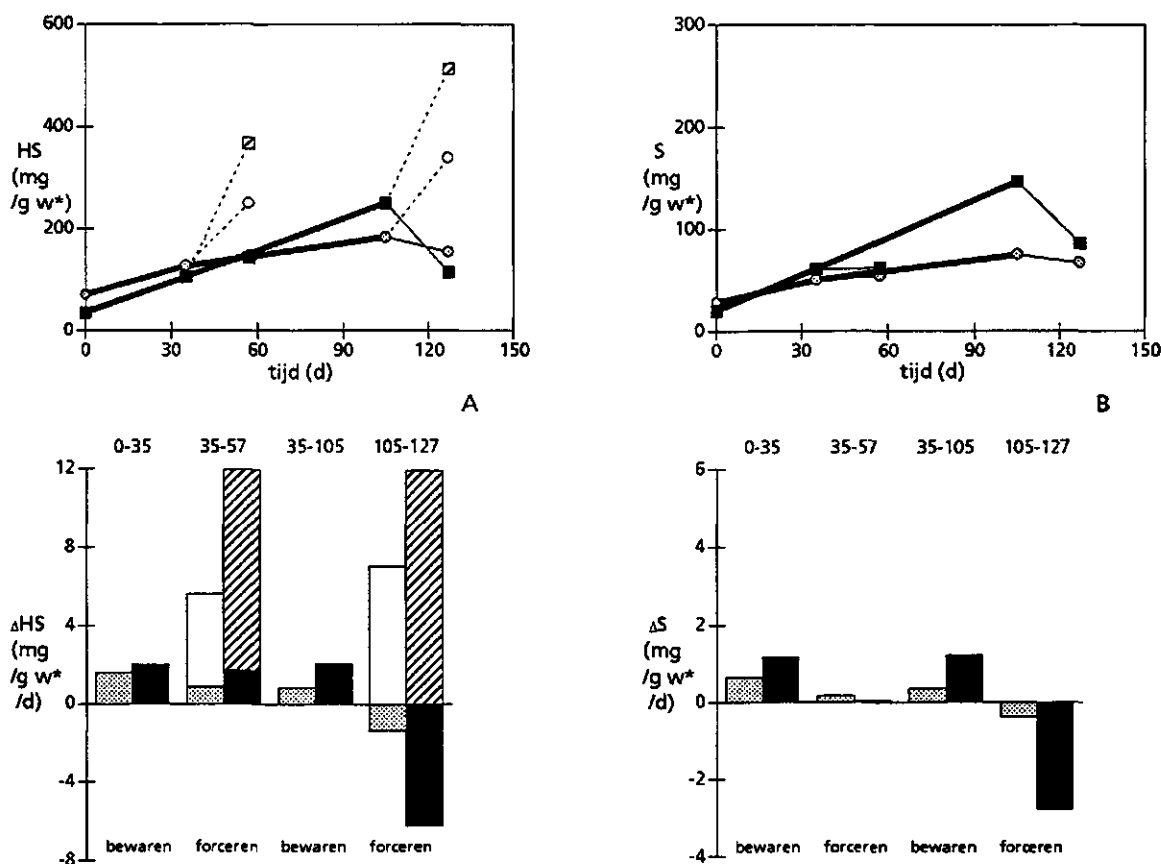


Figuur 3.4.18. Gehalte en depolymerisatie van A: polyfructaan (PFn) en B: oligofructaan (OFn) in wortels met een stikstofgehalte van 3,8 (○) of 9,6 (■) mg/g ds, tijdens bewaring bij 0°C (—) en forceren bij 15°C (—)

Tijdens de bewaring bij 0°C werd de inuline afgebroken, waarbij fructose werd gevormd. Tegelijkertijd werd fructose omgezet tot glucose om sacharose te vormen. In de eerste 5 weken van bewaring werd in zowel stikstofrijke als -arme wortels dezelfde hoeveelheid polyfructaan gedepolymeriseerd tot oligofructaan en fructose (Fig. 3.4.18.A). De snelheid van netto oligofructaan productie daarentegen leek kleiner (Fig. 3.4.18.B). Terwijl de snelheid van totale fructaanhydrolyse slechts 25% hoger was in stikstofrijke wortels, was de vormingsnelheid van sacharose 2 keer die in stikstofarme wortels (Fig. 3.4.19.B). Met de verlenging van de bewaarperiode tot 15 weken bleef de depolymerisatie snelheid van polyfructaan ongewijzigd in alle wortels. Ook de netto produktiesnelheid van oligofructaan was hetzelfde als gedurende de eerste 5 weken van bewaring in stikstofrijke wortels, maar nam toe met bijna 50% in stikstofarme wortels. Aan de andere kant nam de totale snelheid van fructaanhydrolyse af tot de helft van de snelheid die werd waargenomen in de eerste 5 weken in stikstofarme wortels, terwijl die hetzelfde bleef in stikstofrijke wortels. De snelheid



van sacharose vorming veranderde op dezelfde manier als de totale snelheid van fructaan-hydrolyse, dat is halvering in stikstofarme wortels en een lichte toename in stikstofrijke wortels. Gedurende de gehele bewaarperiode overheerste de totale fructaanhydrolyse in stikstofrijke wortels. Dit resulteerde in een 2 keer zo hoog sacharose gehalte in stikstofrijke wortels na een tot 15 weken verlengde bewaarperiode (Tabel 3.4.2. en Fig. 3.4.19.B). Tijdens forceren continueerde de depolymerisatie van polyfructaan in stikstofrijke wortels met een 40% hogere snelheid dan tijdens de voorgaande bewaarperiode van 5 of 15 weken (Fig. 3.4.18.A). In stikstofrijke wortels was de snelheid van polyfructaan-depolymerisatie bijna 2 keer die in stikstofarme wortels, tijdens forceren na 5 weken bewaring. Na 15 weken bewaring was de snelheid van polyfructaan-depolymerisatie tijdens forceren slechts weinig hoger in stikstofrijke wortels. Ook het gehalte aan oligofructaan nam in alle wortels af tijdens forceren, in tegenstelling tot de netto productie gedurende de bewaring. De netto snelheid van oligofructaan-depolymerisatie was veel hoger in stikstofrijke wortels.



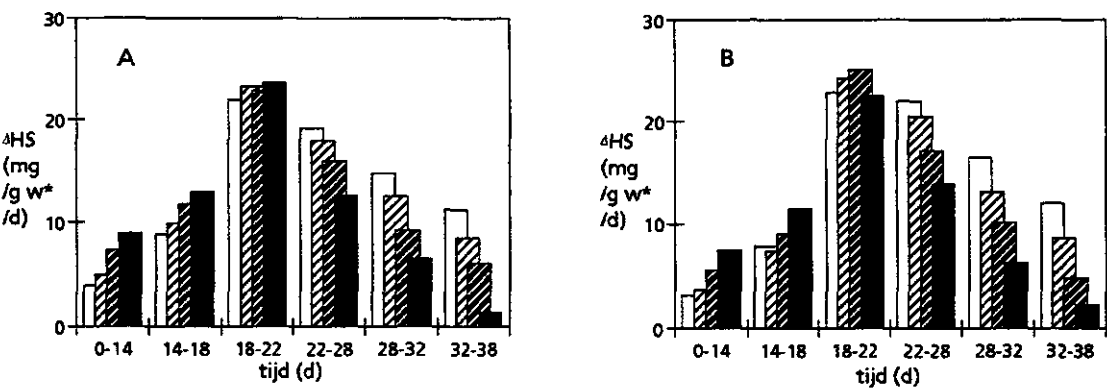
Figuur 3.4.19. A: Netto productie van hexose plus sacharose (HS) en netto fructaan hydrolyse-snelheid, en B: netto sacharose (S) vorming en vormingssnelheid in wortels met een stikstofgehalte van 3,8 (○) of 9,6 (■) mg/g ds, tijdens bewaring bij 0°C (—) en forceren bij 15°C (—); bruto productie (-----)

Als gevolg van de toegenomen hydrolyse van zowel oligo- als polyfructaan was de productiesnelheid van hexose plus sacharose tijdens forceren 3 tot 8x zo hoog als tijdens bewaring, in zowel stikstofrijke als -arme wortels (Fig. 3.4.19.A).

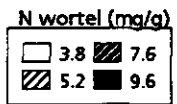
De netto productiesnelheid van hexose plus sacharose daarentegen, was hetzelfde tijdens forceren als gedurende de voorafgaande 5 weken bewaring, in zowel stikstofrijke als -arme

wortels, wat betekent dat de afname van koolhydraten uit de wortel gelijk was aan de depolymerisatie tijdens forceren. Bovendien was de netto vorming van sacharose vrijwel nihil, wat aangaf dat tijdens forceren de afname van sacharose in de wortel correspondeerde met de vorming ervan (Fig. 3.4.19.B). Na 15 weken bewaring was de afname van koolhydraten in de wortel tijdens forceren groter dan zowel de depolymerisatie als de sacharosevorming, vooral in stikstofrijke wortels, wat resulteerde in een netto afname van het hexose- en het sacharose gehalte in de wortel.

Tijdens forceren overheersten alle processen betreffende het koolhydraatmetabolisme in stikstofrijke wortels, inclusief de polyfructaan-depolymerisatie. Deze processen waren echter geenszins constant. De snelheid van totale fructaan hydrolyse nam relatief langzaam toe gedurende de eerste 18 dagen van forceren bij 15°C, maar vertoonde vervolgens een sterkere toename in de periode tussen 18 en 22 dagen (Fig. 3.4.20.A). Wanneer langer werd geforceerd nam de snelheid van fructaan hydrolyse geleidelijk af. In tegenstelling tot de hogere snelheid in stikstofrijke wortels gedurende de eerste 22 dagen viel daarna de snelheid terug tot beneden die van stikstofarme wortels. Wanneer werd geforceerd bij een temperatuur van 12°C, vertoonde de totale fructaan hydrolyse dezelfde tendens. Hoewel beginnend met een lagere snelheid nam deze ook sterk toe na 18 dagen en bereikte dezelfde maximum waarde als bij 15°C tussen 18 en 22 dagen (Fig. 3.4.20.B). Na 22 dagen echter, nam de snelheid van totale fructaanhydrolyse veel geleidelijker af dan bij 15°C, vooral in stikstofrijke wortels. De fructaanhydrolyse tijdens forceren bij 15°C na 5 weken bewaring volgde hetzelfde patroon als tijdens forceren bij 12°C na 15 weken bewaring, alleen met een groter verschil tussen stikstofrijke en -arme wortels in de eerste 18 dagen van forceren.

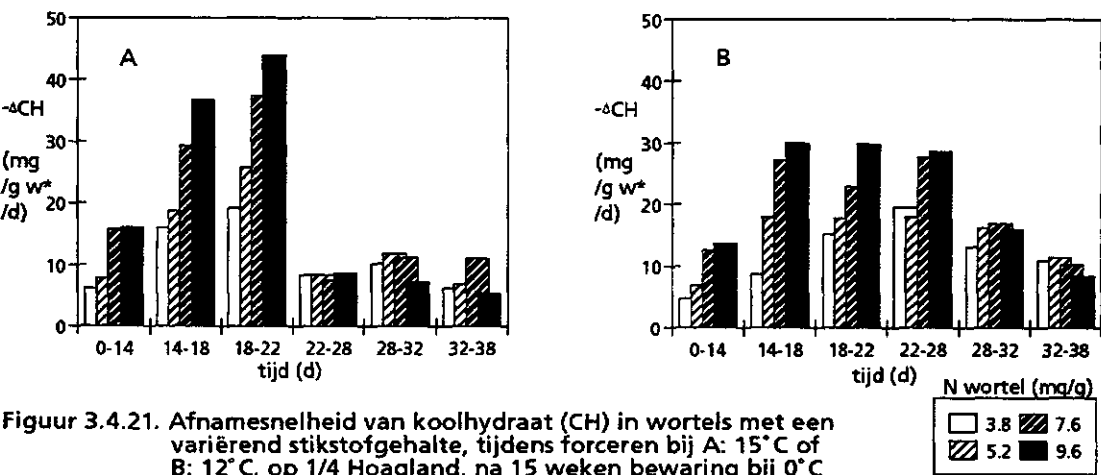


Figuur 3.4.20. Totale fructaan hydrolyse-snelheid: de netto productie-snelheid van hexose plus sacharose (HS) in wortels met een variërend stikstofgehalte, tijdens forceren bij A: 15°C of B: 12°C, op 1/4 Hoagland, na 15 weken bewaring bij 0°C



Hoewel de koolhydraatafname in de wortels de totale fructaanhydrolyse vrijwel benaderde tijdens 22 dagen forceren bij 15°C na 5 weken bewaring, verliep het niet parallel aan de productie van hexose tijdens forceren na 15 weken bewaring. De snelheid van koolhydraatafname was al hoger dan de fructaanhydrolyse gedurende de eerste 14 dagen van forceren, en nam geleidelijker toe tot 22 dagen. In deze periode overheerste de snelheid van koolhydraatafname in stikstofrijke wortels altijd die in stikstofarme wortels (Fig. 3.4.21.A). Na 22 dagen, wanneer de fructaanhydrolyse afnam, viel de snelheid van koolhydraatafname ineens terug tot een heel laag niveau zonder een verschil tussen stikstofrijke en -arme wortels. Bij 12 °C nam de snelheid van koolhydraatafname ook geleidelijk toe, maar bereikte niet hetzelfde maximum tussen 18 en 22 dagen als bij 15°C (Fig. 3.4.21.B). Tussen 22 en 28 dagen was de

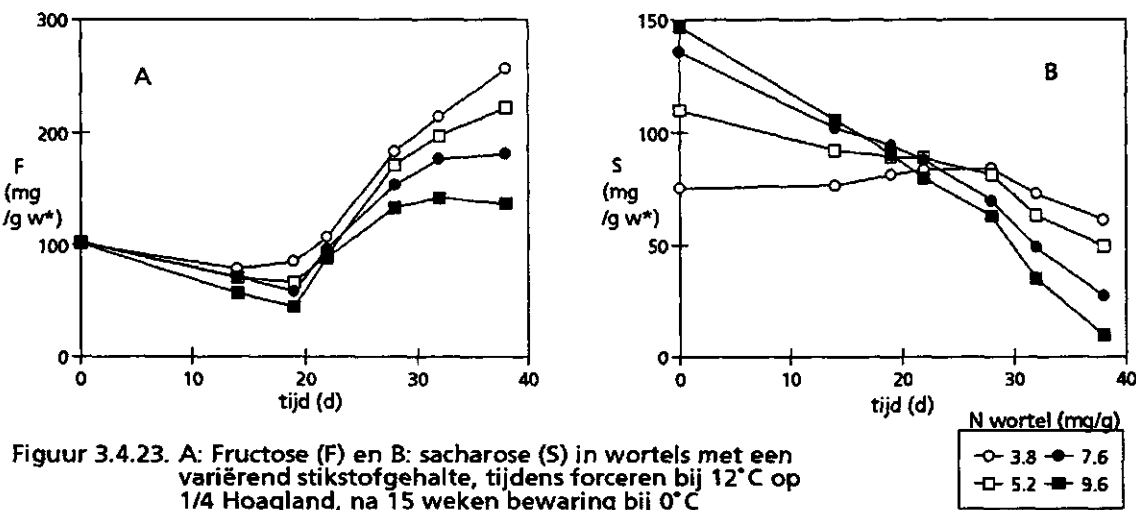
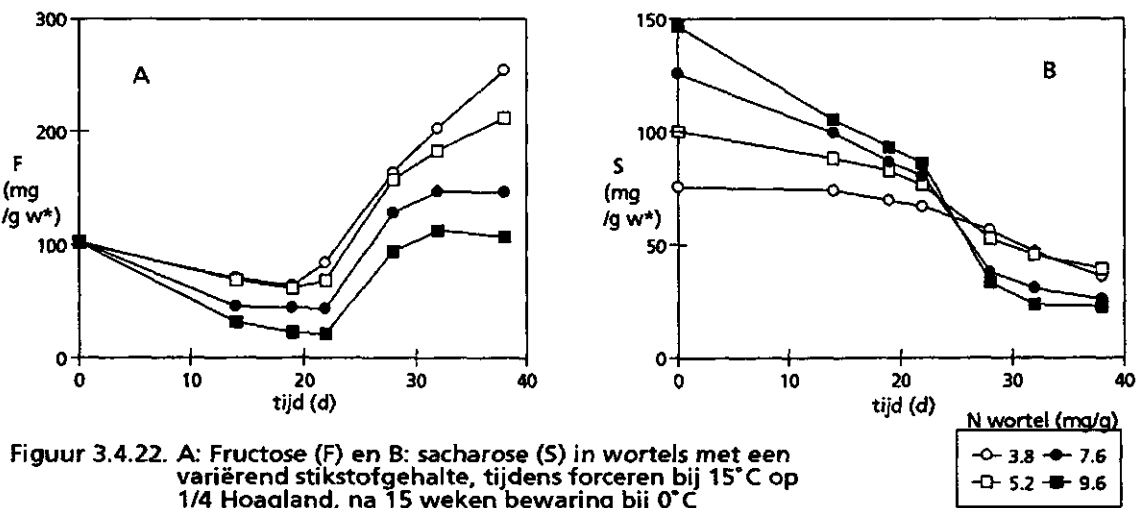
snelheid van koolhydraatafname nog steeds vrijwel hetzelfde als tussen 18 en 22 dagen, behalve de zelfs toenemende koolhydraatafname in stikstofrijke wortels, hoewel ook bij deze temperatuur de fructaan hydrolyse al daalde. Na 28 dagen nam de snelheid van koolhydraat afname af in alle wortels, maar er vond geen plotselinge terugval plaats. Hoewel de hexose produktie hoger was in stikstofrijke wortels na 22 dagen, was de koolhydraatafname nog steeds lager, tenminste tot 28 dagen forceren. Het verschil in koolhydraatafname tussen stikstofrijke en -arme wortels werd kleiner wanneer het forceren werd voortgezet. Na 32 dagen was er geen verschil meer in de snelheid van koolhydraatafname tussen stikstofrijke en -arme wortels, en bereikte ongeveer hetzelfde niveau als bij 15°C. Tijdens forceren bij 15°C na 5 weken bewaring was de snelheid van koolhydraatafname ongeveer hetzelfde als bij 12°C na 15 weken bewaring voor stikstofarme wortels, met een optimum tussen 22 en 28 dagen. Stikstofrijke wortels daarentegen hadden een veel lagere snelheid tot 22 dagen, vergeleken met forceren bij 12°C na 15 weken bewaring, waarna het nog steeds een weinig toenam tot 32 dagen forceren.



Figuur 3.4.21. Afnamesnelheid van koolhydraat (CH) in wortels met een variërend stikstofgehalte, tijdens forceren bij A: 15°C of B: 12°C, op 1/4 Hoagland, na 15 weken bewaring bij 0°C

Als gevolg van het feit dat de koolhydraatafname de fructaanhydrolyse overheerste, nam de hoeveelheid fructose en sacharose in de wortels geleidelijk af tot 18 dagen forceren (Fig. 3.4.22.). In stikstofrijke wortels was de snelheid van totale fructaanhydrolyse hogere dan in stikstofarme wortels gedurende de eerste 18 dagen forceren, maar vanwege de erg hoge snelheid van koolhydraatafname nam de hoeveelheid fructose en sacharose in de wortel sterker af dan in de stikstofarme wortels. Na 18 dagen forceren daarentegen, begon de hoeveelheid fructose toe te nemen in stikstofarme wortels. Na 22 dagen nam het aanzienlijk toe in alle wortels. Deze sterke toename in fructose gehalte zette zich voort tot het einde van de experimenten in stikstofarme wortels, maar werd langzamerhand minder in stikstofrijke wortels (Fig. 3.4.22.A). In deze verlengde forceerperiode daalde de hoeveelheid sacharose snel. Sacharose verdween sneller in stikstofrijke wortels, maar evenals de toename in fructose werd dit effect geleidelijk minder terwijl het zich voortzette in stikstofarme wortels (Fig. 3.4.22.B). Ook de hoeveelheid glucose, die vrijwel afwezig was tot 18 dagen forceren, nam toe tijdens de verlengde forceerperiode, gelijk de toename van fructose, tot een niveau van 50 tot 80% van het sacharose gehalte in respectievelijk stikstofarme en -rijke wortels. Tijdens de eerste 18 dagen forceren bij 12°C nam de hoeveelheid fructose langzamer af met minder verschil tussen stikstofrijke en -arme wortels (Fig. 3.4.23.A). Ook de hoeveelheid sacharose daalde minder snel, en nam zelfs een weinig toe bij stikstofarme wortels (Fig. 3.4.23.B). Na 22 dagen vond dezelfde plotselinge toename in het fructosegehalte plaats als

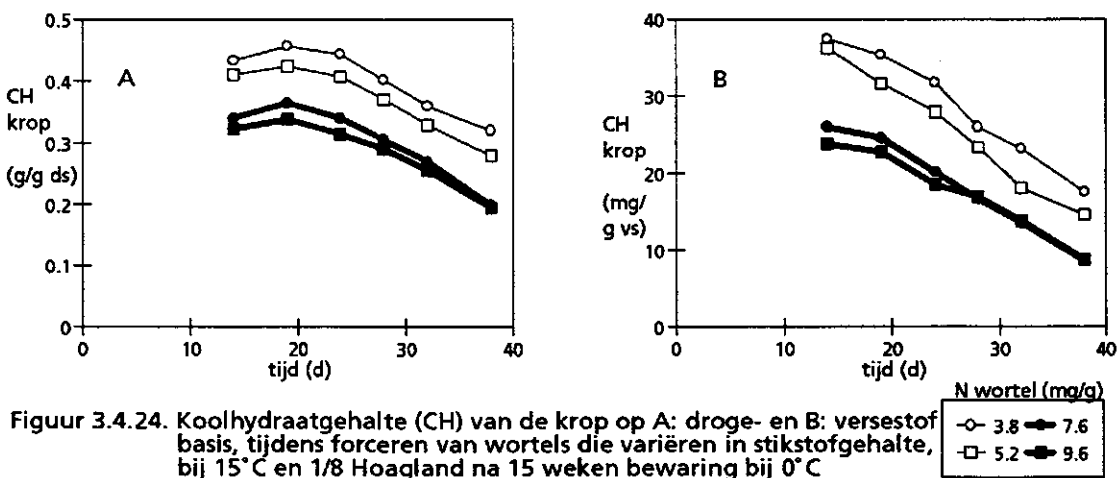
bij 15°C, alleen wat minder sterk. De sterke afname van de hoeveelheid sacharose was alleen zichtbaar na 28 dagen en was niet zo intens als bij 15°C, maar zette zich wel voort tot het einde van de experimenten bij alle wortels.



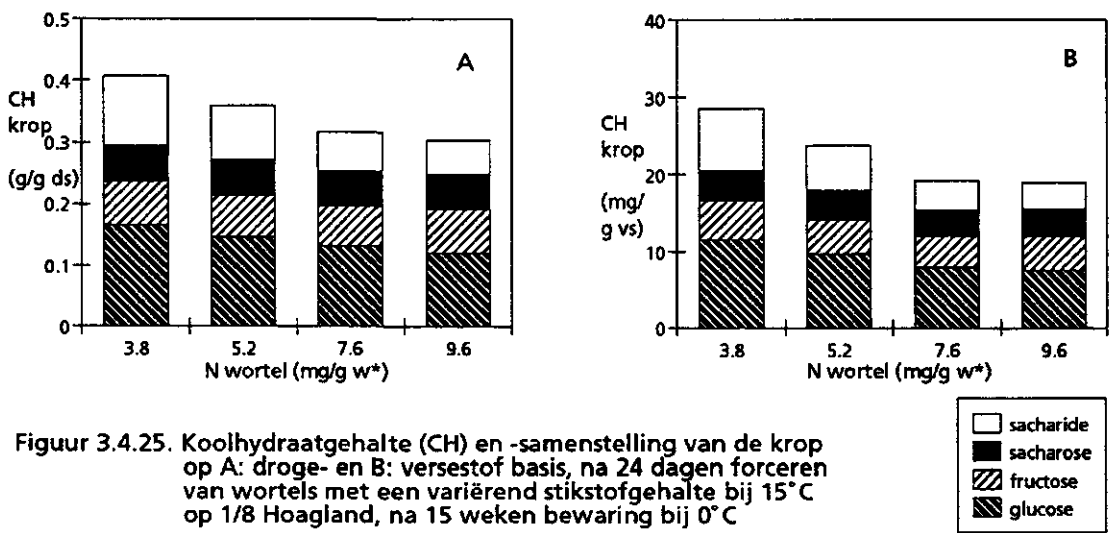
Krop

Wat voor de totale drogestof geldt, nl. dat slechts een deel van de wortelafname daadwerkelijk in de krop aankomt, geldt in het bijzonder voor de koolhydraten, daar deze als bron voor de energievoorziening dienen en een deel dus in de respiratie verbruikt worden. Aangezien 85% van de drogestofafname in de wortel uit koolhydraten bestaat en 70 tot 40% van de drogestof gerespireerd wordt, varieert het koolhydraatgehalte van de drogestof die in de krop arriveert krop (na aftrek van respiratie) tussen de 50 en 75%, bij respectievelijk stikstofrijke en -arme wortels. De koolhydraten arriveren in de krop in de vorm van sacharose, dat aldaar wordt omgezet en gebruikt kan worden voor de synthese van structureel materiaal. Merkwaardig is echter dat tijdens de gehele forceerperiode nog een groot deel van de koolhydraten dat in de krop arriveert als oplosbare koolhydraten in de krop wordt teruggevon-

den, d.w.z. dat een relatief klein deel daadwerkelijk voor de synthese van structureel materiaal is gebruikt (Fig. 3.4.24.A). Tussen de 14 en 24 dagen forceren bestaat 30 tot 45% van de kropdrogestof uit oplosbare koolhydraten bij respectievelijk stikstofrijke en -arme wortels, d.w.z. dat minder dan de helft van de aangevoerde koolhydraten voor de synthese van structureel materiaal kan zijn gebruikt. Vervolgens neemt het koolhydraatgehalte van de krop wel af, maar zelfs na 38 dagen forceren is het koolhydraatgehalte van de kropdrogestof nog 20 tot 30% bij respectievelijk stikstofrijke en -arme wortels. Dat het koolhydraatgehalte van de krop in deze latere fase van forceren afneemt kan veroorzaakt worden doordat de redistributie van drogestof en dus ook van koolhydraten in deze periode sterk is afgenomen. Bij forceren op 1/4 i.p.v. 1/8 Hoagland neemt de drogestofredistributie en de kropproductie iets toe, maar het koolhydraatgehalte van de krop wordt hierdoor nauwelijks minder.



Aangezien het drogestofgehalte van de krop hoger is tijdens het forceren van stikstofarme dan van -rijke wortels is het verschil in koolhydraatgehalte van de verse kropen nog groter dan het verschil op drogestof basis. Doordat het drogestofgehalte van de krop afneemt tijdens forceren neemt ook het koolhydraatgehalte van de verse krop sterker af dan het koolhydraatgehalte van de kropdrogestof (Fig. 3.4.24.B).



Figuur 3.4.25. Koolhydraatgehalte (CH) en -samenstelling van de krop op A: droge- en B: versestof basis, na 24 dagen forceren van wortels met een variërend stikstofgehalte bij 15°C op 1/8 Hoagland, na 15 weken bewaring bij 0°C

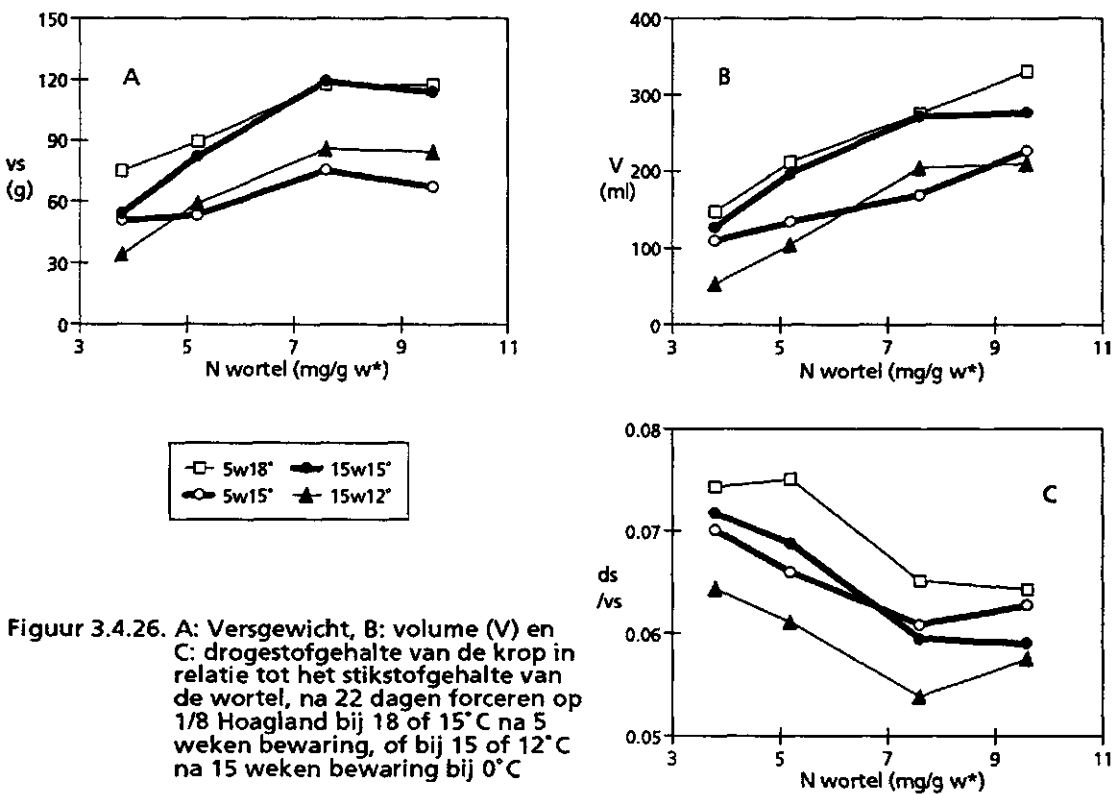
Na 24 dagen forceren bestaat de kropdrogestof nog voor 30 tot 40% uit oplosbare koolhydraten en een drogestofgehalte van de krop van ca. 7% betekent dat het koolhydraatgehalte van de verse krop varieert tussen de 2 en 3% bij respectievelijk stikstofrijke en -arme wortels. De koolhydraten die in de krop gevonden worden zijn hoofdzakelijk mono- en disachariden, namelijk 1,5 tot 2% van de verse krop, en in tegenstelling tot de wortel betreft het hier vooral glucose in plaats van fructose en sacharose (Fig. 3.4.25). Hoewel het koolhydraatgehalte van de krop verschilt tussen stikstofrijke en -arme wortels, is het fructose- en sacharosegehalte gelijk. De verschillen in koolhydraatgehalte van de krop worden voor een groot deel bepaald door een verschil in glucosegehalte. Daarnaast verschilt het gehalte aan oplosbare langketenige suikers. Deze langketenige suikers zijn echter niet (of niet alleen) fructanen, maar oligosachariden, d.w.z. de gemiddelde glucose/fructose-verhouding van deze suikers is nooit lager dan 0,5 en kan in sommige gevallen zelfs toenemen tot 7, terwijl de fructanen in de wortel meestal een glucose/fructose-verhouding hebben van 0,1 of lager.

3.4.5. Kropvorm en andere visuele kwaliteitsaspecten

Bij wortels met een variërend stikstofgehalte verschilde niet alleen de mate van drogestof-redistributie naar de krop, maar ook de samenstelling van de naar de krop getransporteerde drogestof, met name de verhouding tussen aminozuren en koolhydraten (zie 3.4.3 en 3.4.4). Aangezien ook het kropversgewicht niet hetzelfde was bij stikstofrijke en -arme wortels, werd gekeken in hoeverre de vorm van de krop verschilde. Bovendien werd onderzocht of een verband bestond tussen de pitlengte, het vóórkomen van bruine pitplekken en het stikstofgehalte van de wortel.

Na 14, 22 en 28 dagen zijn lengte-, diameter-, oppervlak- en volume-metingen verricht aan de kroppen. Dit zijn te weinig tijdstippen om een zinvolle groeianalyse te maken, zodat hier de resultaten van een vaste periode van 22 dagen forceren bij verschillende omstandigheden besproken zullen worden.

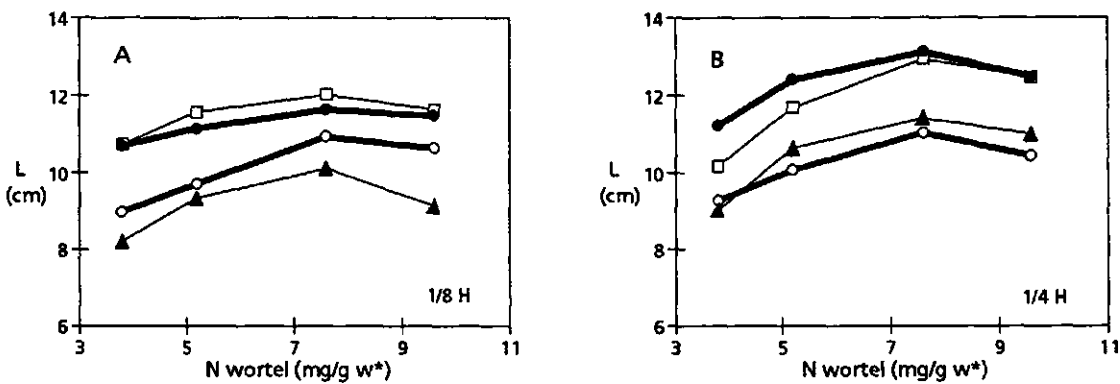
De vormkenmerken van de krop die voor de kwaliteit van belang zijn, hebben enerzijds betrekking op de (relatieve) lengte van de pit en anderzijds op de stand van de bladeren. Voor de kropkwaliteit is het belangrijk dat de bladeren in een verticale stand staan en aan de top op elkaar aansluiten, waardoor een gesloten krop ontstaat. Naarmate de bladeren meer naar buiten gericht staan, neemt het volume van de totale krop bij eenzelfde versgewicht toe.



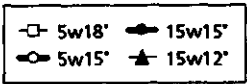
Figuur 3.4.26. A: Versgewicht, B: volume (V) en C: drogestofgehalte van de krop in relatie tot het stikstofgehalte van de wortel, na 22 dagen forceren op 1/8 Hoagland bij 18 of 15° C na 5 weken bewaring, of bij 15 of 12° C na 15 weken bewaring bij 0° C

Na 22 dagen forceren was het versgewicht van de krop over het algemeen hoger bij wortels met een hoger stikstofgehalte, en was bovendien bij alle wortels hoger naarmate de bewaarperiode van de wortels langer was geweest of bij een hogere temperatuur werd geforceerd (Fig. 3.4.26.A; zie ook 3.4.1).

Ook het drogestofgehalte van de krop verschilde bij de wortels en vertoonde een omgekeerd evenredig verband met het stikstofgehalte van de wortel. Het drogestofgehalte van de krop was hoger bij een hogere forceertemperatuur, maar bleek onafhankelijk van de bewaarduur van de wortels (Fig. 3.4.26.C). Desondanks vertoonde het totale kropvolume eenzelfde relatie met stikstofgehalte van de wortel, de bewaarduur en de forceertemperatuur als het kropversgewicht en was bij alle wortels en onder de verschillende forceeromstandigheden ruim 2x zo groot als het kropversgewicht (Fig. 3.4.26.B). Ook bij forceren op 1/4 Hoagland voedingsoplossing waren deze relaties tussen kropvolume en -versgewicht hetzelfde.



Figuur 3.4.27. Lengte van de krop in relatie tot het stikstofgehalte van de wortel, na 22 dagen forceren op A: 1/8 of B: 1/4 Hoagland bij 18 of 15°C na 5 weken bewaring, of bij 15 of 12°C na 15 weken bewaring bij 0°C



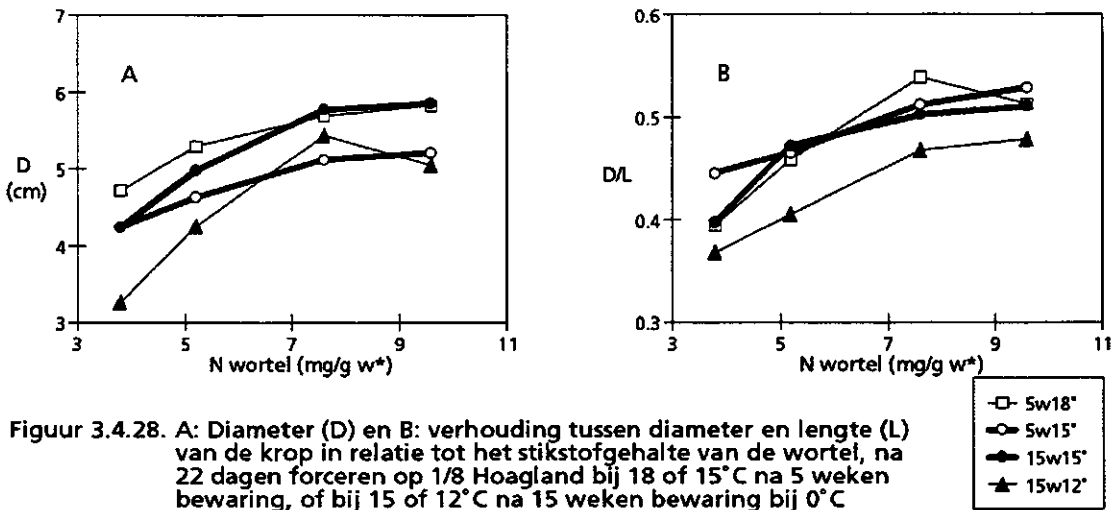
De lengte van de krop varieerde veel minder sterk met het stikstofgehalte van de wortel dan het totale volume. De kropen waren zelfs wat korter bij wortels met een stikstofgehalte van 9,6 mg/g ds dan bij wortels met een stikstofgehalte van 7,6 mg/g ds (Fig. 3.4.27). Hoewel bij 1/8 Hoagland het effect op de krop lengte van een hogere forceertemperatuur groter leek dan het effect van een langere forceerduur, in vergelijking tot de effecten op het kropvolume (Fig. 3.4.27.A), was dat bij 1/4 Hoagland niet het geval. Bij 1/4 Hoagland leek zelfs het effect van een hogere forceertemperatuur groter dan van een langere forceertemperatuur (Fig. 3.4.27.B).

Zoals te verwachten viel, vanwege het feit dat het volume van de krop in principe overeenkomt met het produkt van de lengte en het kwadraat van de diameter(s), was de grote variatie in kropvolume tussen stikstofrijke en -arme wortels voor een groot deel te wijten aan een verschil in kropdiameter.

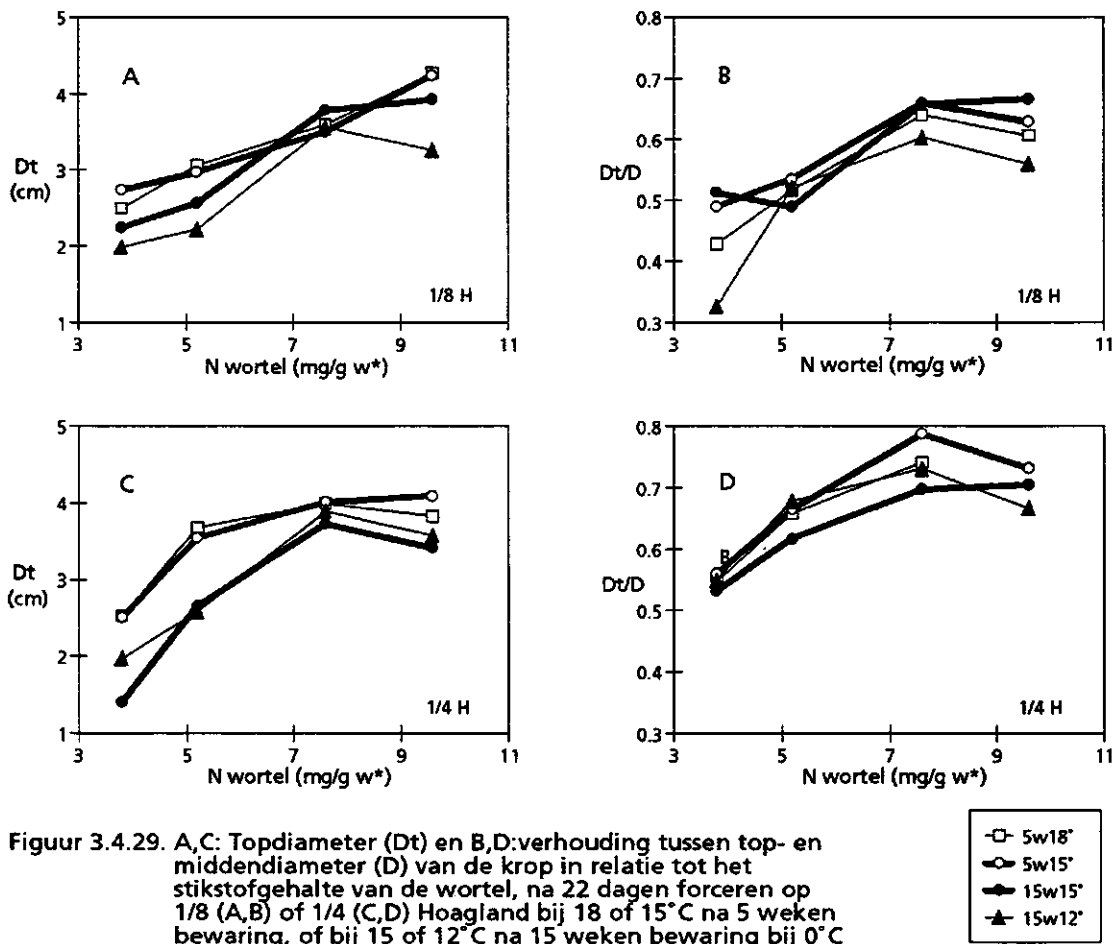
De middendiameter van de krop varieerde met de forceertemperatuur, de bewaarduur en het stikstofgehalte van de wortel volgens hetzelfde patroon als het volume. Behalve na forceren bij 12°C na 15 weken bewaring was de kropdiameter in alle gevallen groter bij een hoger stikstofgehalte van de wortel. Hoewel de kropdiameter groter was na langere bewaring van de wortel en bij een hogere forceertemperatuur, was het verschil tussen stikstofrijke en -arme wortels minder sterk na 5 weken dan na 15 weken bewaring (Fig. 3.4.28.A).

De absolute verschillen tussen de krop lengtes bij stikstofrijke en -arme wortels waren wel ongeveer even groot als de verschillen tussen de kropdiameters, maar doordat de lengte van de krop gemiddeld 2x zo groot was al de diameter was de verhouding tussen diameter en lengte van de krop groter bij stikstofrijke dan bij stikstofarme wortels.





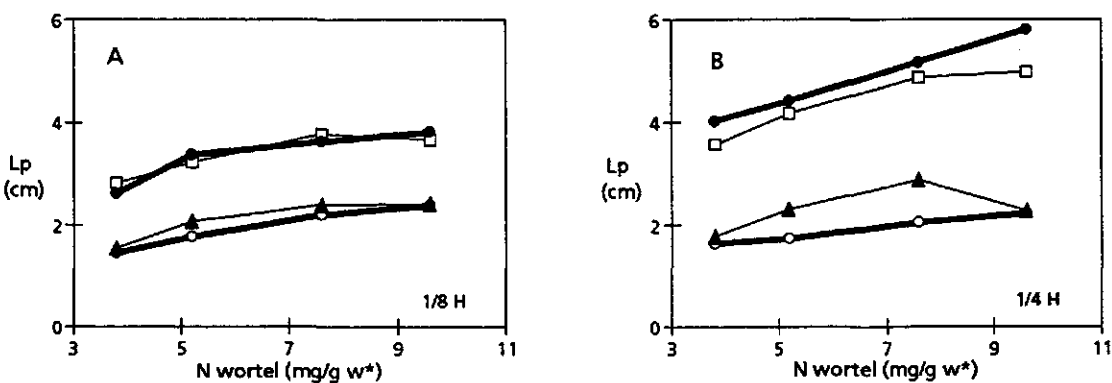
Figuur 3.4.28. A: Diameter (D) en B: verhouding tussen diameter en lengte (L) van de krop in relatie tot het stikstofgehalte van de wortel, na 22 dagen forceren op 1/8 Hoagland bij 18 of 15°C na 5 weken bewaring, of bij 15 of 12°C na 15 weken bewaring bij 0°C



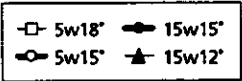
Figuur 3.4.29. A,C: Topdiameter (Dt) en B,D:verhouding tussen top- en middendiameter (D) van de krop in relatie tot het stikstofgehalte van de wortel, na 22 dagen forceren op 1/8 (A,B) of 1/4 (C,D) Hoagland bij 18 of 15°C na 5 weken bewaring, of bij 15 of 12°C na 15 weken bewaring bij 0°C

Er waren geen duidelijke verschillen waar te nemen in de diameter/lengte-verhouding tussen forceren bij hoge of lage temperatuur of na korte of lange bewaring van de wortel, behalve een lagere diameter/lengte verhouding na forceren bij 12°C na 15 weken bewaring (Fig. 3.4.28.B). De relatie tussen kropdiameter en stikstofgehalte van de wortel was hetzelfde bij forceren op 1/4 Hoagland als bij 1/8 Hoagland voedingsoplossing.

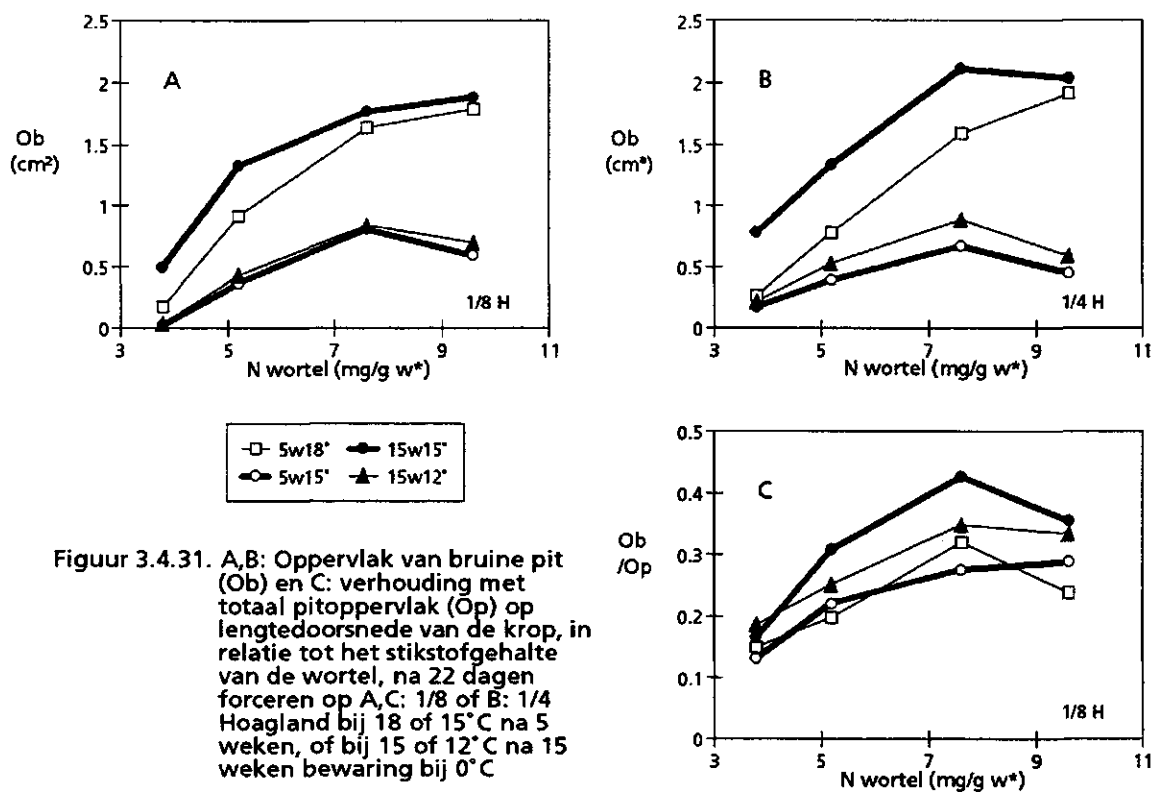
Niet alleen de middendiameter van de krop varieerde met het stikstofgehalte van de wortel. Ook de topdiameter van de krop was groter bij wortels met een hoger stikstofgehalte, waarbij het effect sterker was na 15 dan na 5 weken bewaring van de wortels, evenals bij de middendiameter (Fig. 3.4.29.A). Doordat de absolute verschillen in topdiameter tussen stikstofrijke en -arme wortels vrijwel even groot waren als de verschillen in middendiameter, terwijl de topdiameter gemiddeld veel kleiner was dan de middendiameter, was ook de verhouding tussen top- en middendiameter groter bij wortels met een hoger stikstofgehalte. Evenals bij de diameter/lengte verhouding was geen verschil aan te tonen tussen forceren bij een hoge of lage temperatuur of na een korte of lange bewaarperiode van de wortels (Fig. 3.4.29.B). De relatie tussen topdiameter van de krop en stikstofgehalte van de wortel bij forceren op 1/4 Hoagland was vergelijkbaar met die bij forceren op 1/8 Hoagland. Alleen was de topdiameter van de krop gemiddeld iets hoger bij forceren na 5 weken bewaring van de wortel (Fig. 3.4.29.C). Dit kwam ook tot uitdrukking in de verhouding tussen top- en middendiameter van de krop, die over het algemeen iets hoger was bij forceren op 1/4 Hoagland dan bij forceren op 1/8 Hoagland; de relatie met het stikstofgehalte van de wortel was desondanks vergelijkbaar (Fig. 3.4.29.D). Behalve de uiterlijke vorm van de krop spelen ook visuele kenmerken die betrekking hebben op de pit een belangrijke rol in de bepaling van de kropkwaliteit.



Figuur 3.4.30. Pitlengte van de krop (Lp) in relatie tot het stikstofgehalte van de wortel, na 22 dagen forceren op A: 1/8 of B: 1/4 Hoagland bij 18 of 15° C na 5 weken bewaring, of bij 15 of 12° C na 15 weken bewaring bij 0° C

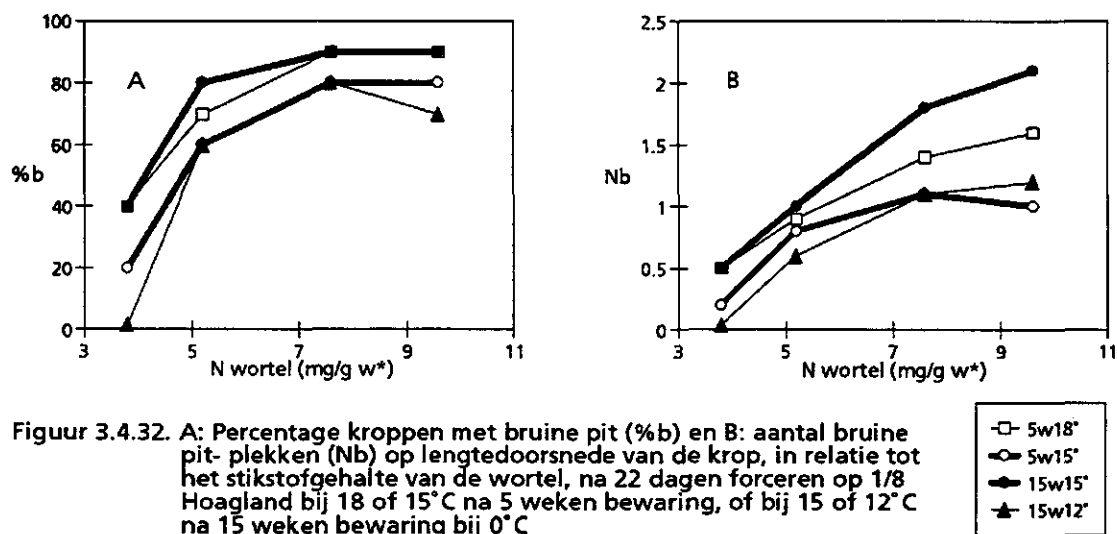


De relatie tussen pitlengte en het stikstofgehalte van de wortel vertoonde eenzelfde patroon als de kroplengte. Hoewel de pit wel langer was bij wortels met een hoger stikstofgehalte was het effect van bewaarduur van de wortel en de forceertemperatuur veel groter, zowel bij 1/8 Hoagland als (in sterkere mate) bij 1/4 Hoagland (Fig. 3.4.30). De relatieve pitlengte, d.w.z. de verhouding tussen pit- en kroplengte, was hierdoor voor alle wortels hetzelfde, en bleek alleen toe te nemen met de bewaarduur van de wortel en de forceertemperatuur. Het optreden van bruine pit vertoonde wel een sterke relatie met het stikstofgehalte van de wortel. De oppervlakte van bruinverkleuring in de pit, gemeten op lengtedoorsnede van de krop, was veel hoger bij stikstofrijke dan bij stikstofarme wortels. De oppervlakte van bruinverkleuring was bovendien groter na forceren bij een hogere temperatuur of na een langere bewaarperiode van de wortels (Fig. 3.4.31.A). Het forceren op 1/4 i.p.v. 1/8 Hoagland voedingsoplossing bleek geen effect te hebben op de mate waarin bruine pit voorkwam (Fig. 3.4.31.B).



Figuur 3.4.31. A,B: Oppervlak van bruine pit (Ob) en C: verhouding met totaal pitoppervlak (Op) op lengtedoorsnede van de krop, in relatie tot het stikstofgehalte van de wortel, na 22 dagen forceren op A,C: 1/8 of B: 1/4 Hoagland bij 18 of 15°C na 5 weken, of bij 15 of 12°C na 15 weken bewaring bij 0°C

Doordat de lengte (en ook het oppervlak op lengtedoorsnede) van de pit slechts weinig varieerde tussen de wortels was de mate van bruinverkleuring niet alleen in absolute zin, maar ook in verhouding tot de grote van de pit groter bij stikstofrijke wortels. Terwijl bij stikstofarme wortels gemiddeld circa 15% van de pit bruin verkleurd was, kon dat bij stikstofrijke wortels wel oplopen tot meer dan 40% (Fig. 3.4.31.C). Daar de pitlengte wel groter was bij een hogere forceertemperatuur of een langere bewaarduur van de wortels, vertoonde de relatieve bruinverkleuring van de pit een veel minder sterke afhankelijkheid van de forceertemperatuur of de bewaarduur van de wortels.



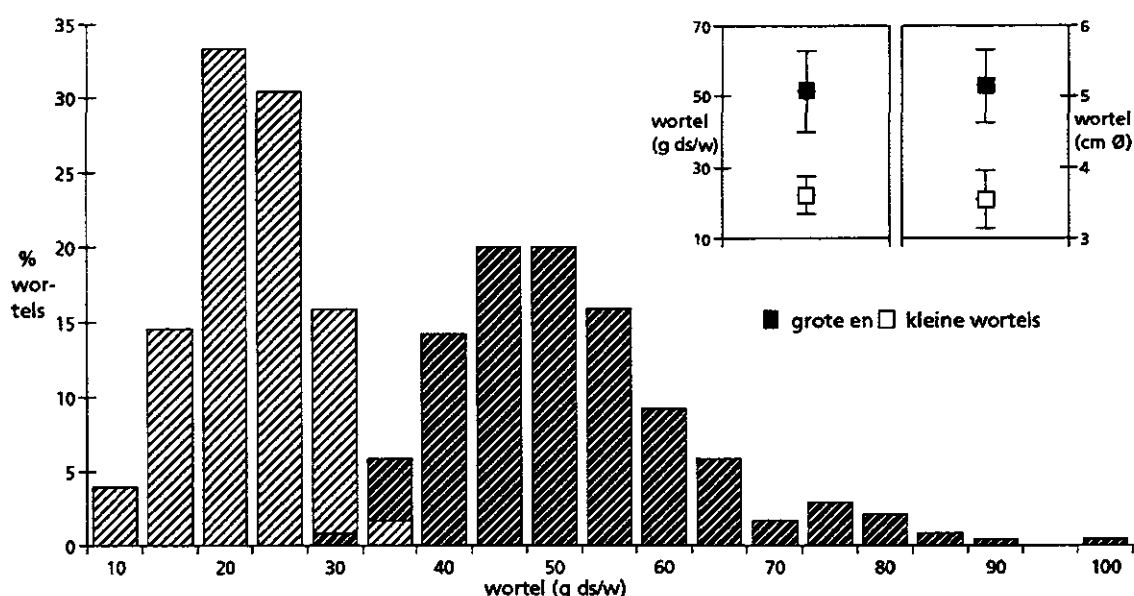
Figuur 3.4.32. A: Percentage kappen met bruine pit (%b) en B: aantal bruine pit- plekken (Nb) op lengtedoorsnede van de krop, in relatie tot het stikstofgehalte van de wortel, na 22 dagen forceren op 1/8 Hoagland bij 18 of 15°C na 5 weken bewaring, of bij 15 of 12°C na 15 weken bewaring bij 0°C

Afgezien van het grote verschil in de mate van bruinverkleuring van de pit tussen stikstofrijke en -arme wortels was het aantal kroppen waarin ook maar iets bruinverkleuring werd aangetroffen bij de meeste wortels erg groot. Bij wortels met een stikstofgehalte van 5 tot 10 mg/g ds werd in 60 tot 90% van de kroppen bruine pit aangetroffen. Alleen bij wortels met een stikstofgehalte van 3,8 mg/g ds was dat percentage duidelijk lager, namelijk 0 tot 40%, afhankelijk van de forceertemperatuur en de bewaarduur van de wortels (Fig. 3.4.32.A). Het gemiddelde aantal afzonderlijke bruine pitplekken per krop vertoonde eenzelfde relatie met de forceertemperatuur, de bewaarduur en het stikstofgehalte van de wortel als het oppervlak op lengtedoorsnede, zodat het gemiddelde oppervlak per plek in alle gevallen ongeveer even groot was, maar alleen het aantal plekken per krop varieerde (Fig. 3.4.32.B).

### 3.5. Invloed van de concentratieverhouding van kalium en calcium in de voedingsoplossing op de opname van mineralen, de drogestofredistributie en de krop- productie en -kwaliteit van grote en kleine wortels (experiment 6)

Om de invloed van de samenstelling van de voedingsoplossing op de kropvorming te onderzoeken, werd een experiment uitgevoerd waarbij wortels werden geforceerd op een voedingsoplossing waaraan geen kalium en/of calcium was toegevoegd.

Voor dit experiment werd een partij 'Flash' wortels gebruikt met een stikstofgehalte van 6,7 mg N/g ds en met een variatie in wortelgewicht van 10 tot 100 g drogestof. Na 2 weken bewaring bij 0°C werd de partij opgesplitst in kleine en grote wortels met een gemiddeld drooggewicht van resp. 22 en 51 g, wat overeen kwam met een gemiddelde diameter van resp. 3,5 en 5,1 cm (Fig. 3.5.1).

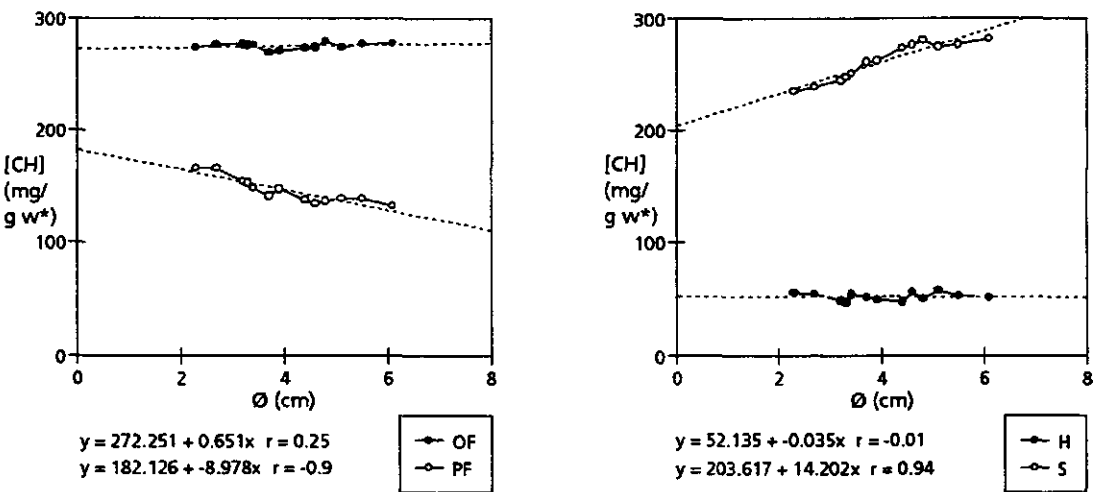


Figuur 3.5.1. Maatverdeling van de gebruikte partijen grote en kleine wortels

Na de koude bewaring werden monsters genomen van wortels met verschillende maten voor de bepaling van het drogestof-, kalium-, calcium- en stikstofgehalte. Van deze wortelmonsters werd ook de koolhydraatsamenstelling geanalyseerd. Het gehalte aan fructanen in de drogestof nam af met een toenemende diameter van de wortel. Dit bleek uitsluitend een afname van polyfructanen met een polymerisatiegraad (DP) van 9 of hoger te betreffen. Het gehalte aan oligofructanen was vrijwel hetzelfde in alle wortels (Fig. 3.5.2.A). Het totale koolhydraatgehalte nam daarentegen toe van 720 tot 745 mg/g ds bij een diameter van resp. 2 tot 6 cm ( $y = 710,129 + 5,84 x$ ;  $r = 0,74$ ). Dit betekent dat het gehalte aan korte koolhydraten met een  $DP < 3$  groter was bij grote wortels. Het gehalte aan hexosen (fructose en glucose) was echter hetzelfde bij kleine en grote wortels. Alleen het sacharosegehalte was aanzienlijk groter bij grote wortels (Fig. 3.5.2.B).

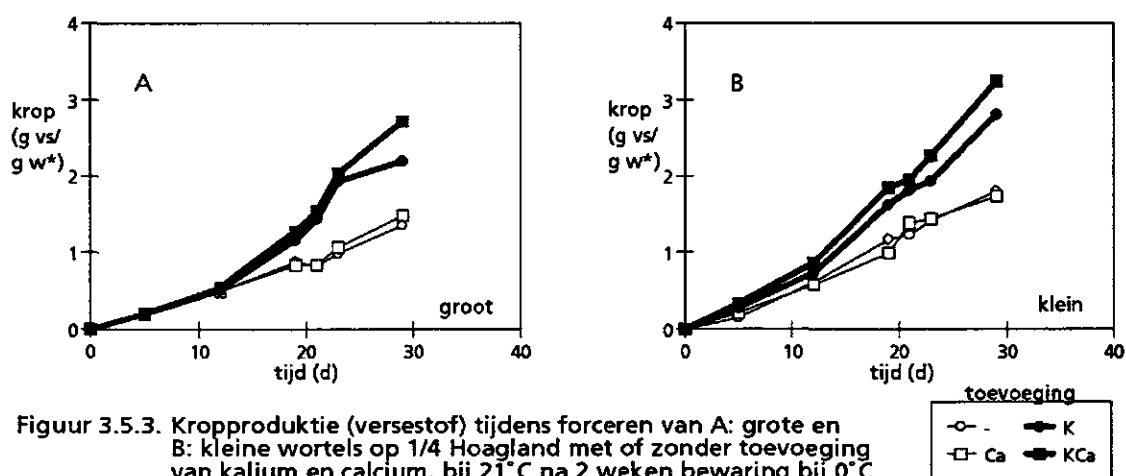
De wortels werden gedurende 29 dagen geforceerd bij een temperatuur van 21°C op verschillende voedingsoplossingen, nl. 1/4 Hoagland zonder kalium en calcium (-), met kalium (K), met calcium (Ca), of met kalium en calcium (KCa). Hierbij moet aangetekend worden dat de voedingsoplossingen gemaakt werden met leidingwater en zodoende niet echt kalium- of

calciumvrij waren. In alle oplossingen werd het gehalte aan stikstof constant gehouden door bij het ontbreken van kalium- of calciumnitraat ( $\text{KNO}_3$  of  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ) in de oplossing ammoniumnitraat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) toe te voegen. Dit heeft tot gevolg dat de ammoniumconcentratie in de -, Ca, K en KCa-oplossingen een verhouding heeft van 3 : 2 : 1 : 0. Op verschillende tijdstippen tijdens forceren (5, 12, 19, 21, 23 en 29 dagen) werden wortels en kroppen geoogst voor de bepaling van vers- en drooggewicht, kalium-, calcium- en stikstofgehalte, en verschillende kwaliteitskenmerken.



Figuur 3.5.2. Samenstelling van koolhydraten in wortels met variërende diameter voor forceren. polyfructaan (PF): DP 9 en hoger, oligofructaan (OF): DP 3-8, sacharose (S) en hexose (H)

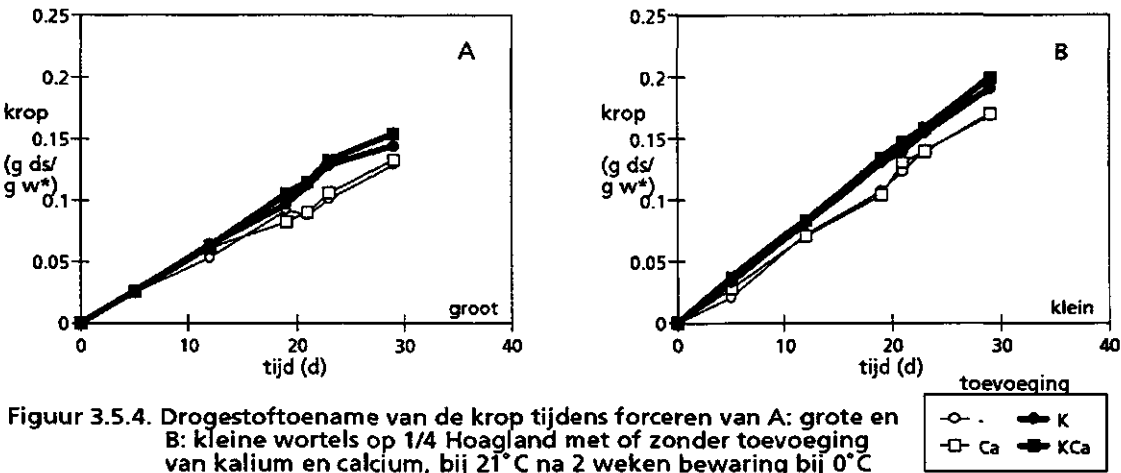
3.5.1. Kropproductie



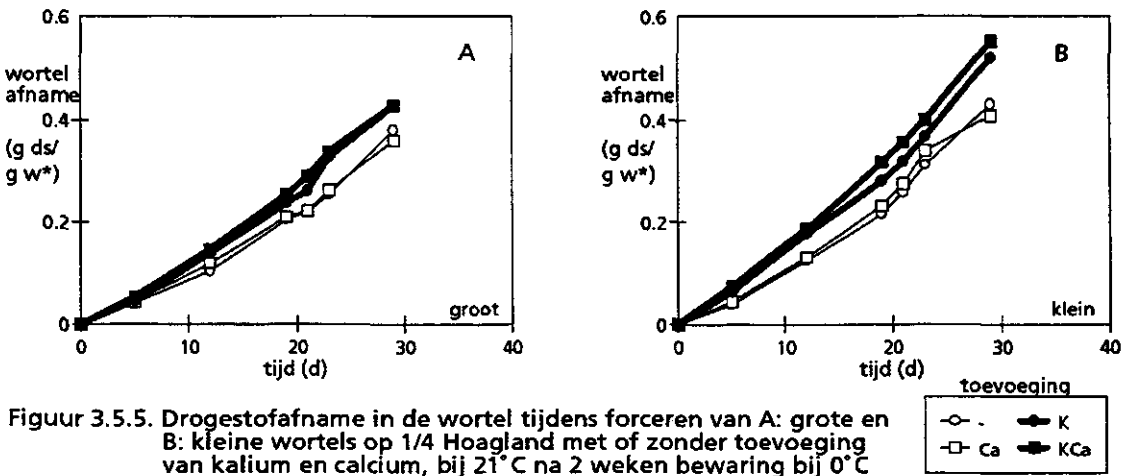
Figuur 3.5.3. Kropproductie (versestof) tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

De verse kropproductie was in het begin van forceren vrijwel hetzelfde voor alle grote wortels op de verschillende voedingsoplossingen, maar bleef na 12 dagen sterk achter bij de oplossingen waarin zich geen kalium bevond. Bij kleine wortels was de verse kropproductie iets hoger dan bij grote wortels, d.w.z. relatief aan het wortelgewicht. Ook bij kleine wortels was de kropproductie geringer bij afwezigheid van kalium in de voedingsoplossing, maar daar was het verschil ook in het begin van forceren al wel aanwezig (Fig. 3.5.3).

3.5.2. Drogestofredistributie

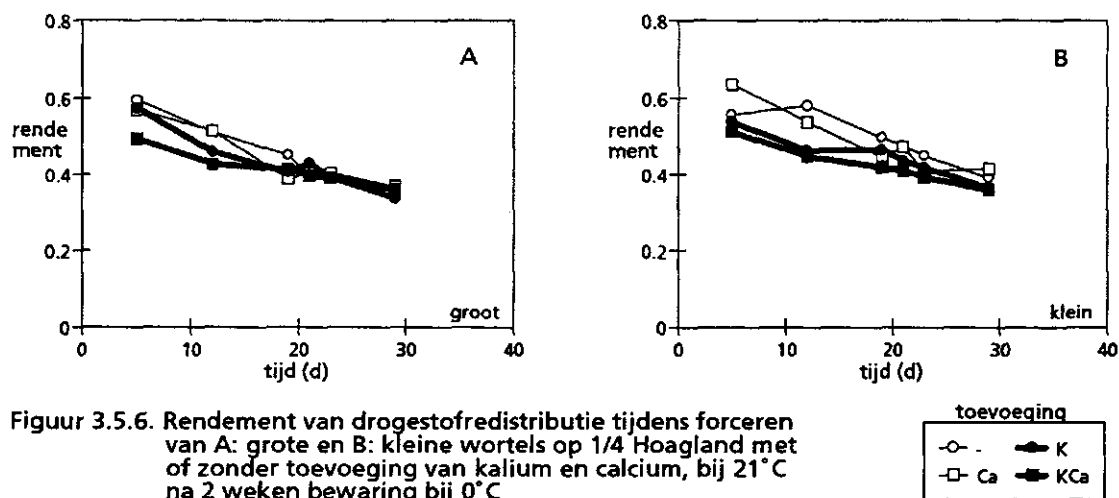


De drogestofproductie van de krop vertoonde dezelfde tendenzen als de versestofproductie. Zo was bij zowel kleine als grote wortels de drogestofproductie van de krop geringer bij afwezigheid van kalium in de voedingsoplossing, maar het verschil was veel minder sterk dan bij de versproductie (Fig. 3.5.4). Daarentegen was het verschil in drogestofproductie tussen kleine en grote wortels veel groter dan het verschil in versproductie. Dit betekent dat het drogestofgehalte van kroppen van kleine wortels hoger was dan van kroppen van grote wortels. Bovendien was in beide gevallen het drogestofgehalte van kroppen hoger wanneer ge-forceerd werd op een 'kaliumvrije' voedingsoplossing.



Afgezien van een wat afwijkend verloop tijdens forceren vertoonde de drogestofafname van de wortel dezelfde patronen als de drogestofproductie van de krop, met betrekking tot de verschillen tussen 'kaliumvrije' en kaliumhoudende voedingsoplossingen en met betrekking tot de verschillen tussen kleine en grote wortels (Fig. 3.5.5).



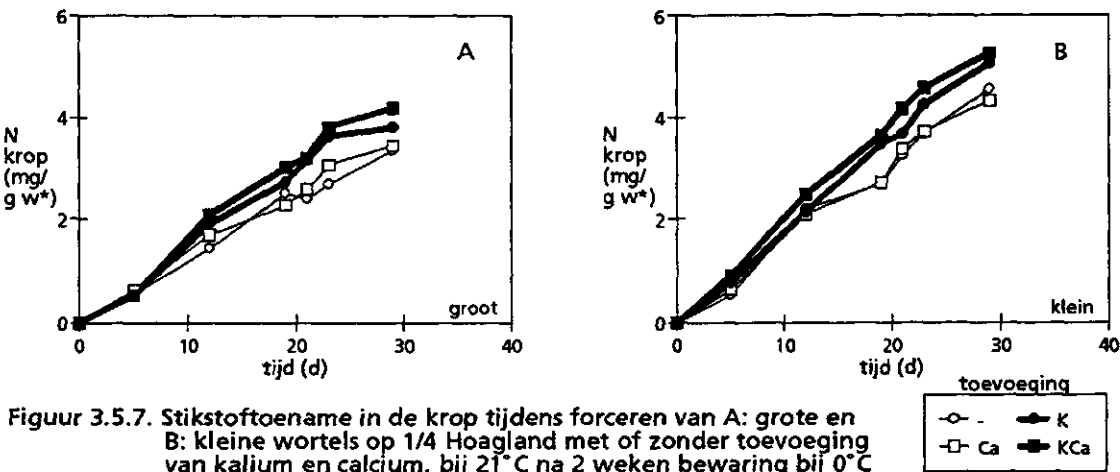


Figuur 3.5.6. Rendement van drogestofredistributie tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

Dit heeft tot gevolg dat ook het rendement van de drogestofredistributie, de produktie van kropdrogestof per hoeveelheid drogestofafname van de wortel, nauwelijks verschillen vertoonde (Fig. 3.5.6). Alleen in het begin van forceren van kleine wortels lijkt het rendement iets hoger bij forceren op een 'kaliumvrije' voedingsoplossing. Het rendement daalde tijdens forceren van ca. 60% na 5 dagen tot 40% na 29 dagen. Hoewel over de gehele forceerperiode het rendement bij kleine wortels wat hoger lijkt te liggen, is dit verschil erg gering.

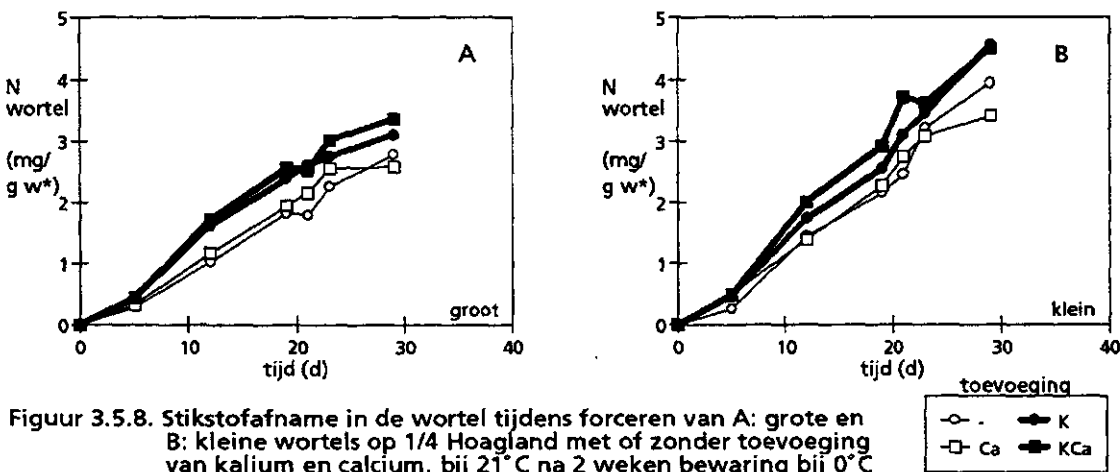
3.5.3. Stikstofredistributie

Het stikstoftransport naar de krop vertoonde hetzelfde verloop als de drogestofredistributie, met dezelfde verschillen tussen kleine en grote wortels en tussen forceren op 'kaliumvrije' en kaliumhoudende voedingsoplossingen (Fig. 3.5.7). Hierdoor was het stikstofgehalte van de krop (drogestof) in alle gevallen gelijk.



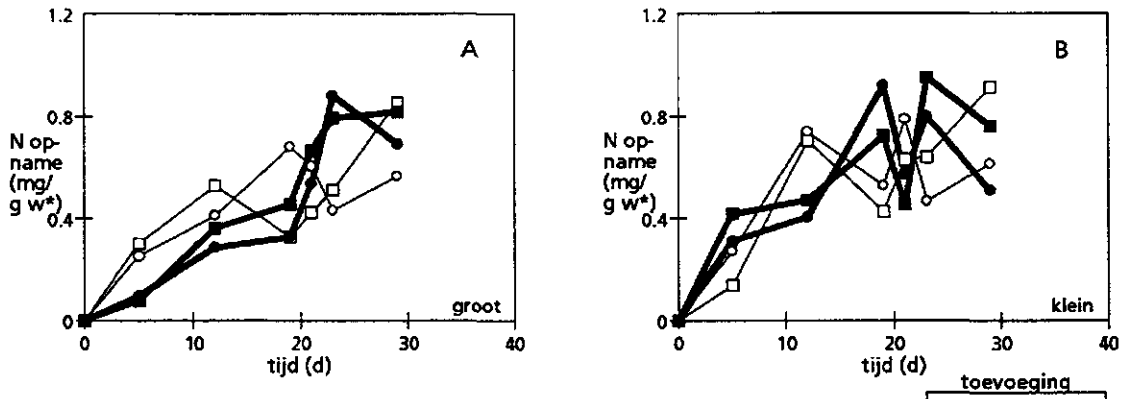
Figuur 3.5.7. Stikstoftoename in de krop tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

Het totale stikstoftransport naar de krop werd voor 80 tot 85% bepaald door de stikstofredistributie uit de wortel. De stikstofredistributie vertoonde dan ook dezelfde patronen als de drogestofredistributie (Fig. 3.5.8). Dat wil zeggen dat in alle gevallen het stikstofgehalte van de geredistribueerde drogestof hetzelfde was.



Figuur 3.5.8. Stikstofafname in de wortel tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

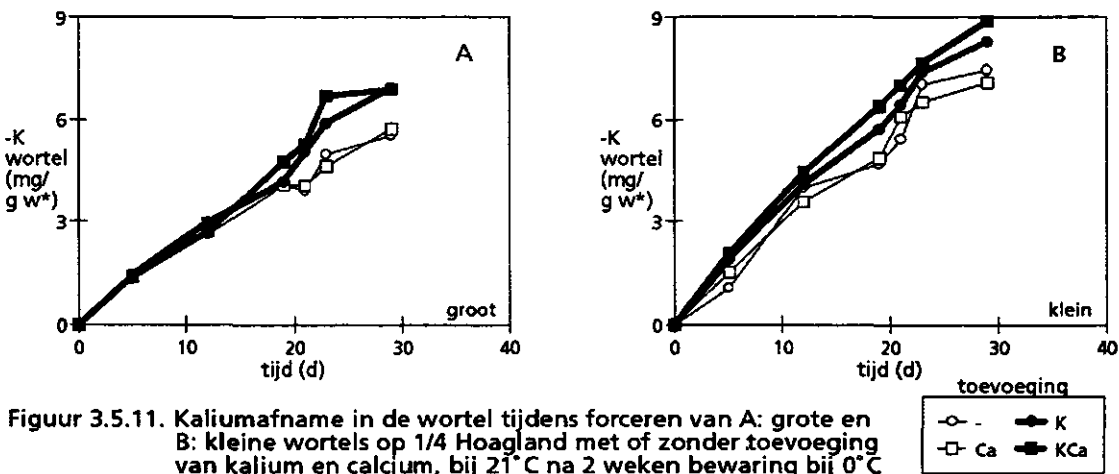
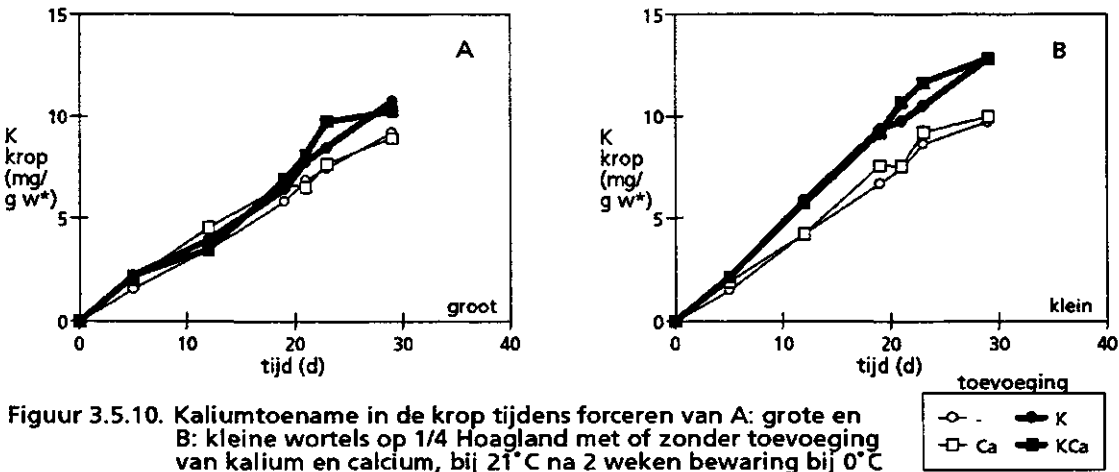
De opname van stikstof was zo gering, zoals gezegd slechts 10 tot 15% van het totale stikstoftransport, dat de onnauwkeurigheid in de bepaling erg groot werd en geen verschillen konden worden waargenomen in opname door kleine en grote wortels, noch in de opname uit de verschillende voedingsoplossingen (Fig. 3.5.9).



Figuur 3.5.9. Stikstofopname tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

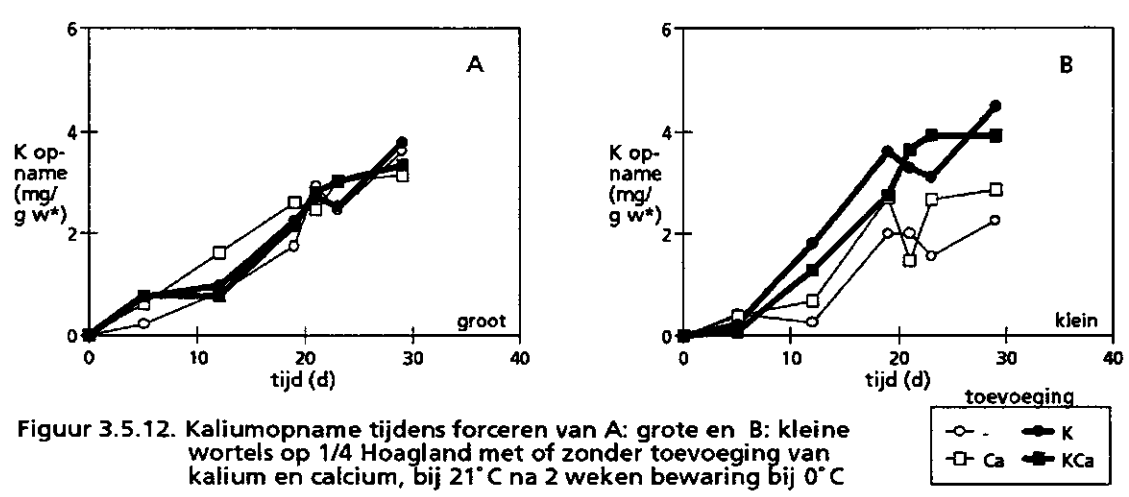
3.5.4. Kaliumredistributie

Het verhaal dat gold voor het transport van stikstof herhaalt zich eigenlijk voor het transport van kalium naar de krop: in bijna alle gevallen stond het kaliumtransport in constante verhouding tot de drogestofproduktie van de krop (Fig. 3.5.10). Alleen bij forceren van kleine wortels op een 'kaliumvrije' oplossing bleef het kaliumtransport wat achter bij de drogestofproduktie van de krop.



Dat dit niet was te wijten aan een afwijkende kaliumredistributie uit de wortel blijkt uit het parallele verloop van de kaliumredistributie met de drogestofredistributie (Fig. 3.5.11), gelijk de stikstofredistributie.

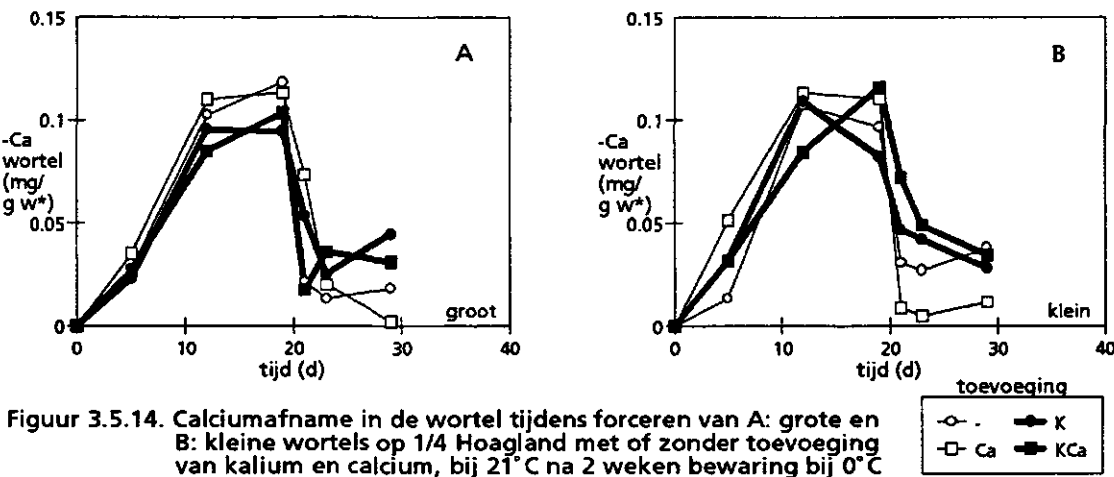
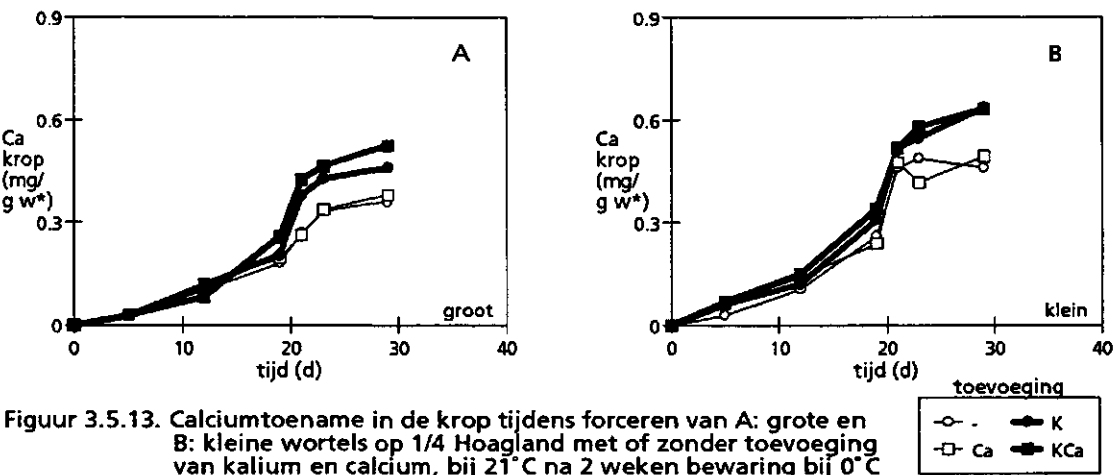
Het aandeel van kaliumopname uit de voedingsoplossing in het totale kaliumtransport naar de krop was wat groter dan van stikstof, nl. 30 tot 40% (Fig. 3.5.12). Ondanks het verschil in kaliumgehalte tussen de kaliumhoudende en 'kaliumvrije' voedingsoplossingen was er bij grote wortels geen verschil waar te nemen in kaliumopname uit de verschillende oplossingen. Alleen bij kleine wortels was de opname uit de 'kaliumvrije' oplossingen geringer dan uit de kaliumhoudende oplossingen, waardoor het totale kaliumtransport naar de krop wat achter bleef bij de drogestofproduktie.



Figuur 3.5.12. Kaliumopname tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21° C na 2 weken bewaring bij 0° C

3.5.5. Calciumredistributie

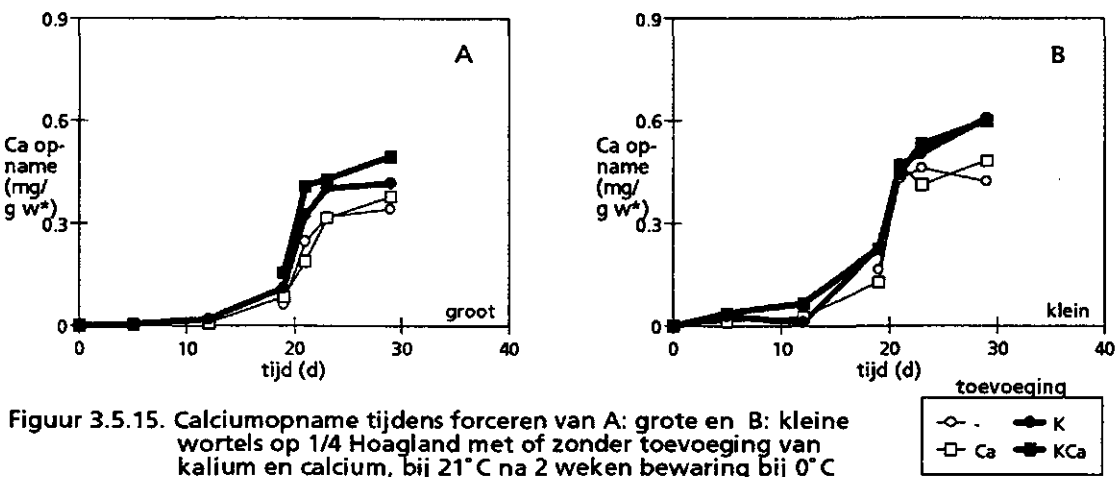
Het transport van calcium naar de krop was duidelijk afwijkend van het kalium- en stikstoftransport. Gedurende de eerste 19 dagen van forceren was het calciumtransport gering en nauwelijks verschillend bij forceren op de verschillende voedingsoplossingen. In de daarop volgende 4 dagen nam het calciumtransport tijdelijk sterk toe. In deze periode ontstonden ook verschillen in calciumtransport bij forceren op verschillende voedingsoplossingen, waarbij het calciumtransport het grootst was bij forceren op kaliumhoudende oplossingen.



Een ander verschil tussen het transport van calcium en van kalium en stikstof was dat slechts een klein deel van het calciumtransport naar de krop redistributie uit de wortel betrof en dan ook nog uitsluitend in de eerste 'geringe calciumtransport'-fase van het forceren. Na 19 dagen forceren werd zelfs de uit de wortel geredistribueerde calcium weer aangevuld tot vrijwel de oorspronkelijke hoeveelheid (Fig. 3.5.14).

De opname van calcium uit de voedingsoplossing was de eerste 12 dagen van forceren nihil, waarna een plotselinge stijging optrad, die na 19 dagen nog sterker werd en niet alleen een groter calciumtransport naar de krop toestond, maar ook de uit de wortel geredistribueerde calcium weer aanvulde (Fig. 3.5.15). Deze calciumopname was in tegenstelling tot de stikstof-

opname, en in zekere mate de kaliumopname, niet hetzelfde bij forceren op de verschillende voedingsoplossingen. Merkwaardig genoeg was de calciumopname echter groter op kaliumhoudende voedingsoplossingen en kon geen relatie waargenomen worden met het calciumgehalte van de voedingsoplossing.



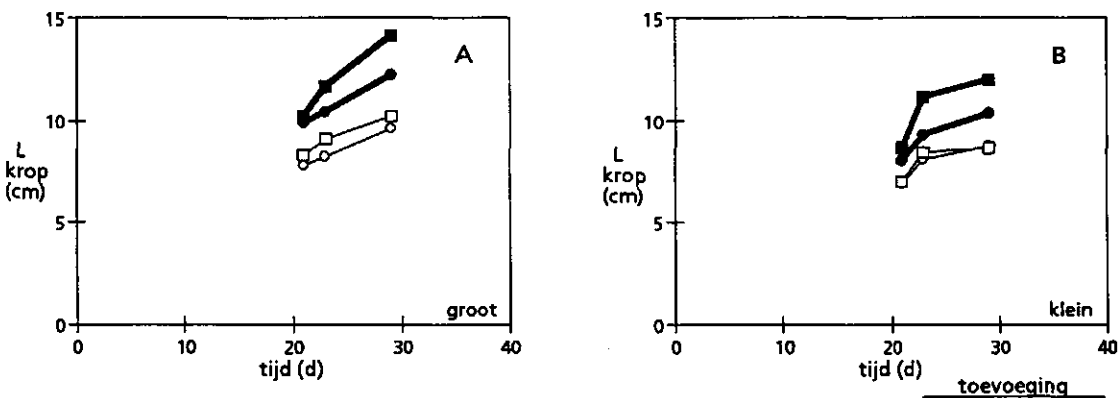
Figuur 3.5.15. Calciumopname tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

3.5.6. Kropvorm en andere visuele kwaliteitsaspecten

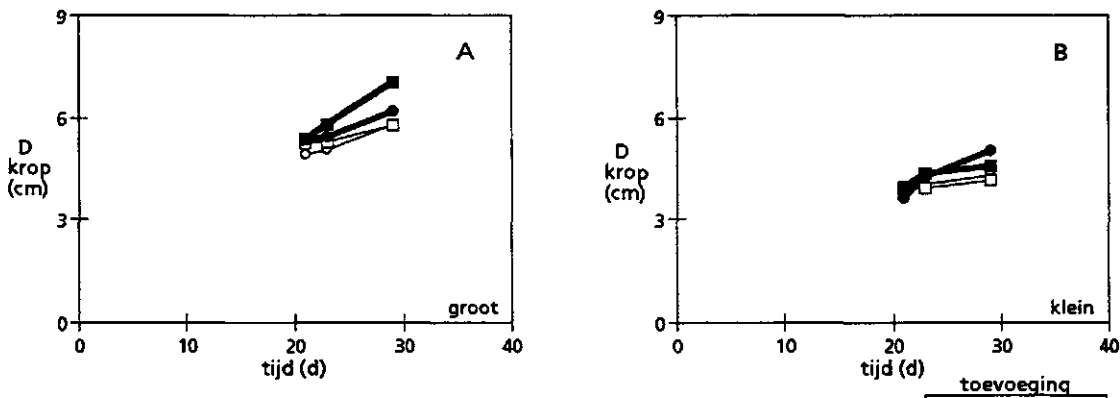
Verschillende metingen aan de kropstructuur werden vanwege de kleine krop in het begin van forceren en het arbeidsintensieve karakter van de metingen slechts op 3 tijdstippen uitgevoerd, nl. na 21, 23 en 29 dagen forceren.

Kropvorm

Het kropvolume stond in deze periode altijd in een verhouding van ca. 2,5 tot het versgewicht. Dit betekent dat ook het kropvolume groter was bij forceren op de kaliumhoudende voedingsoplossingen. Hoewel de verse krop relatief ten opzichte van het wortelgewicht groter was bij kleine dan bij grote wortels, was de krop in absolute zin wel kleiner. Het kropvolume is evenredig aan het produkt van de lengte en het kwadraat van de diameter(s) van de krop. De lengte van de krop nam toe gedurende het forceren en was groter wanneer geforceerd werd op kaliumhoudende voedingsoplossingen, zowel bij kleine als bij grote wortels (Fig. 3.5.16). Bovendien leek de krop ook wat langer wanneer geforceerd werd op calciumhoudende voedingsoplossingen. De krop was korter bij kleine dan bij grote wortels.



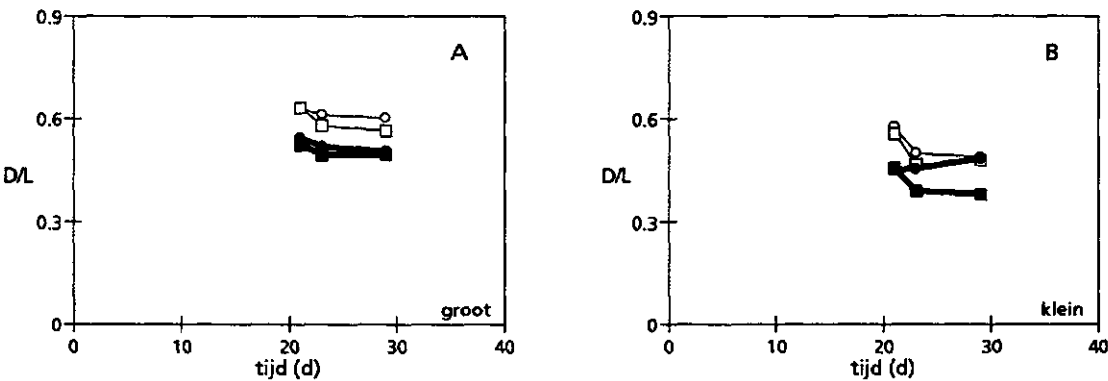
Figuur 3.5.16. Lengte (L) van de krop tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C



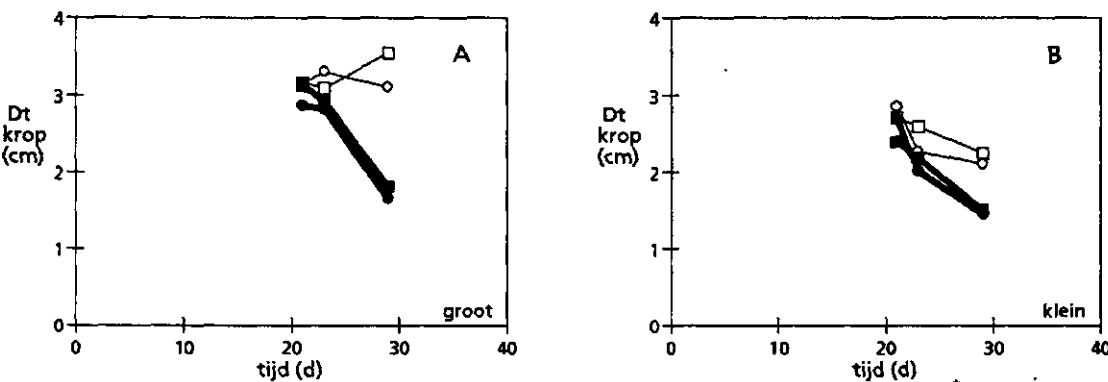
Figuur 3.5.17. Diameter (D) van de krop tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C



De diameter van de krop nam eveneens toe tijdens forceren, maar verschilde nauwelijks wanneer geforceerd werd op de verschillende voedingsoplossingen (Fig. 3.5.17). Bij kleine wortels was de krop niet alleen korter, maar ook slanker.

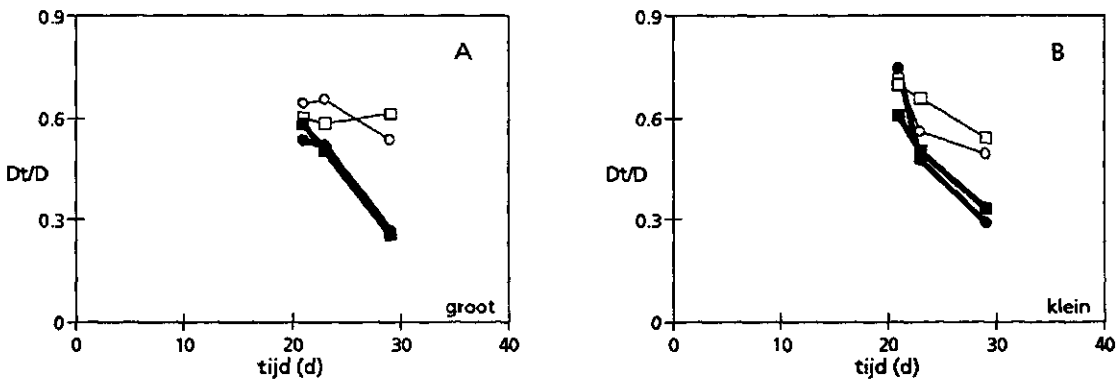


Figuur 3.5.18. Verhouding tussen diameter (D) en lengte (L) van de krop tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C



Figuur 3.5.19. Topdiameter (Dt) van de krop tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

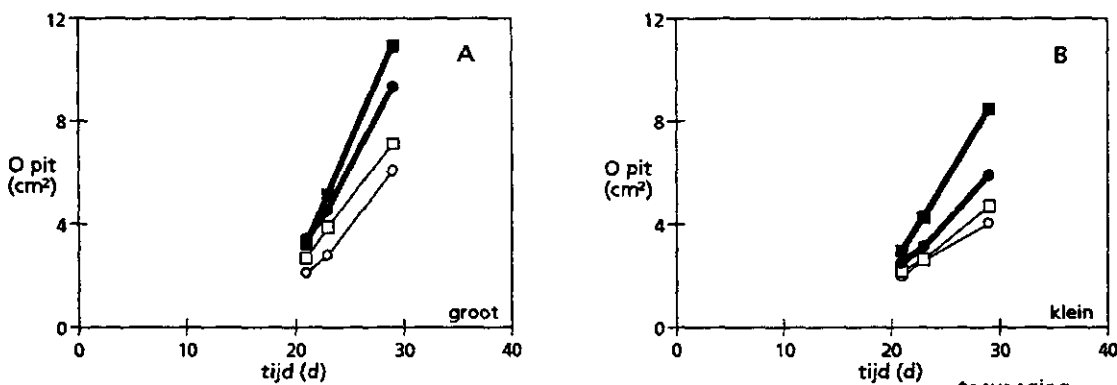
Als gevolg van de voorgenoemde verschillen in lengte en diameter van de krop was de diameter/lengte-verhouding van de krop, een parameter die gebruikt wordt voor de indeling in kwaliteitsklassen, redelijk constant in deze periode van forceren, maar was kleiner bij forceren op kaliumhoudende voedingsoplossingen en kleiner bij kleine wortels (Fig. 3.5.18). Ook de mate van geslotenheid van de krop is belangrijk voor de kwaliteitsindeling van kroppen. De diameter van de top van de krop nam in de meeste gevallen af in deze forceerperiode, maar veel sterker wanneer geforceerd werd op kaliumhoudende voedingsoplossingen (Fig. 3.5.19). Hierbij was geen duidelijk verschil waar te nemen tussen grote en kleine wortels, behalve dat bij grote wortels de topdiameter helemaal niet afnam op de 'kaliumvrije' voedingsoplossingen en de kroppen van grote wortels daardoor minder gesloten waren dan van kleine wortels. Dit is goed te zien wanneer de relatieve geslotenheid van de krop wordt bekeken, d.w.z. de verhouding tussen top- en middendiameter van de krop (Fig. 3.5.20).



Figuur 3.5.20. Verhouding tussen top- ( $Dt$ ) en middendiameter ( $D$ ) van de krop tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

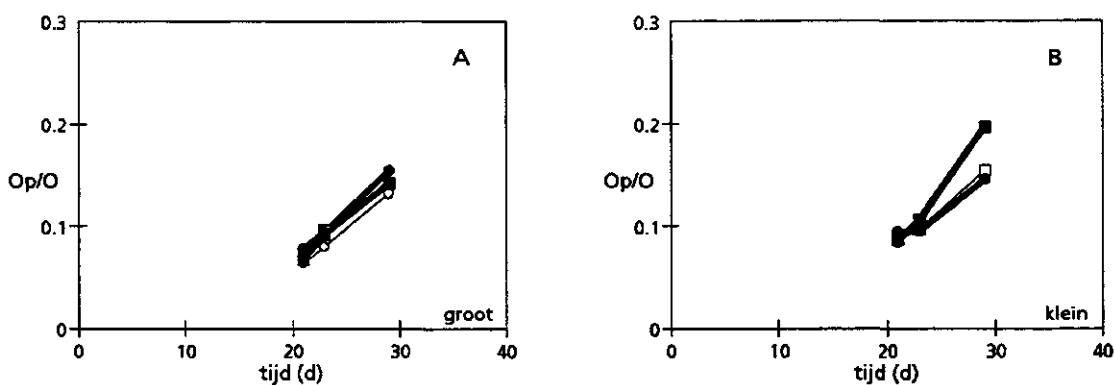
**Pitlengte**

Wanneer de krop langer werd tijdens forceren nam ook de lengte van de pit toe. Aangezien de diameter van de pit redelijk constant bleef, kan de pitgroei even goed worden uitgedrukt in het oppervlak op lengtedoorsnede. Hieraan wordt de voorkeur gegeven, daar ook de mate van aantasting van de pit als oppervlakte wordt uitgedrukt.) De pitgroei in deze periode van forceren was echter in alle gevallen sneller dan de kropgroei. Het pitoppervlak nam tussen 21 en 29 dagen forceren met 100 tot 200% toe (Fig. 3.5.21). De pitgroei was het grootst bij forceren op de kaliumhoudende voedingsoplossingen, maar leek ook wat groter op de calciumhoudende voedingsoplossingen. Deze tendens was hetzelfde als bij de lengtegroei van de krop. Ook de geringere pitgroei bij kleine wortels komt overeen met de lengtegroei.

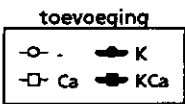


Figuur 3.5.21. Oppervlak ( $O$ ) van de pit tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

Wanneer de relatieve pitgroei wordt uitgezet, d.w.z. de verhouding tussen pit- en kropoppervlak op lengtedoorsnede, is er dan ook geen verschil waar te nemen tussen forceren op de verschillende voedingsoplossingen (Fig. 3.5.22). Wel is duidelijk de snellere pit- dan kropgroei te zien. Na 21 en 23 dagen forceren is de pit/krop-verhouding wat groter bij kleine wortels maar na 29 dagen is dat verschil niet erg duidelijk meer aanwezig.

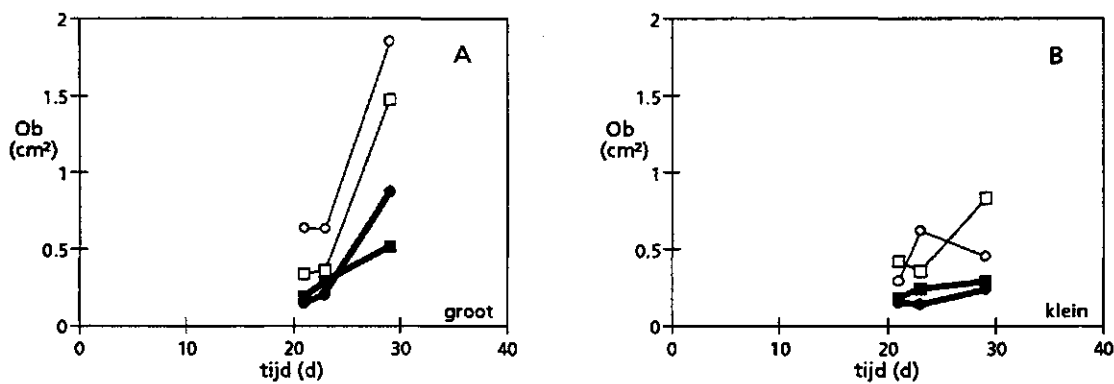


Figuur 3.5.22. Verhouding tussen pit- ( $Op$ ) en kropoppervlak ( $O$ ) op lengte-doorsnede, tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

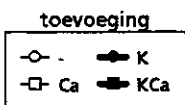


**Bruine pit**

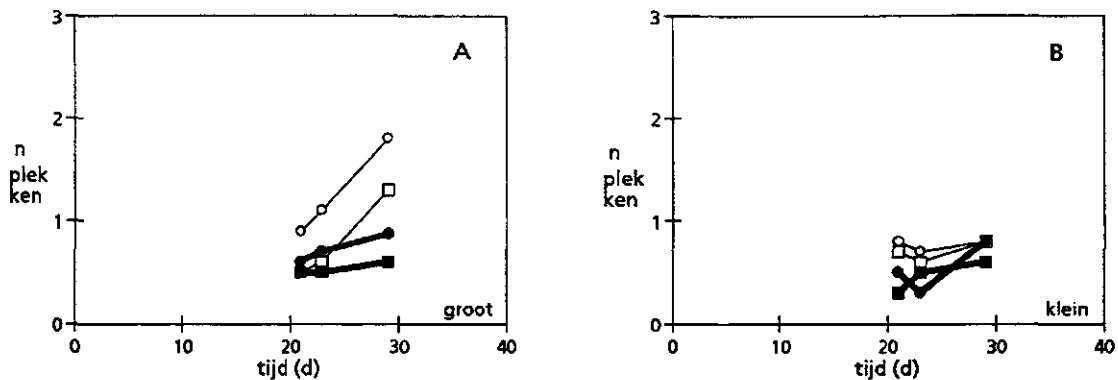
Bruinverkleuring van de pit is een negatief kwaliteitskenmerk. In de kroppen is de oppervlakte van de bruine plekken gemeten. Het totale oppervlak van de bruine plekken per krop nam bij grote wortels sterk toe naarmate langer werd geforceerd. Bij kleine wortels was dat niet het geval (Fig. 3.5.23). Wel was bij zowel kleine als grote wortels het bruine oppervlak groter wanneer werd geforceerd op 'kaliumvrije' voedingsoplossingen, ook reeds na 21 dagen forceren. Bij kleine wortels kon geen verschil worden waargenomen tussen forceren op calciumhoudende en 'calciumvrije' voedingsoplossingen. Bij grote wortels was het bruine pitoppervlak altijd het grootst wanneer geforceerd werd op een oplossing 'zonder' kalium én calcium.



Figuur 3.5.23. Oppervlak van bruine pitplekken ( $Ob$ ) tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C



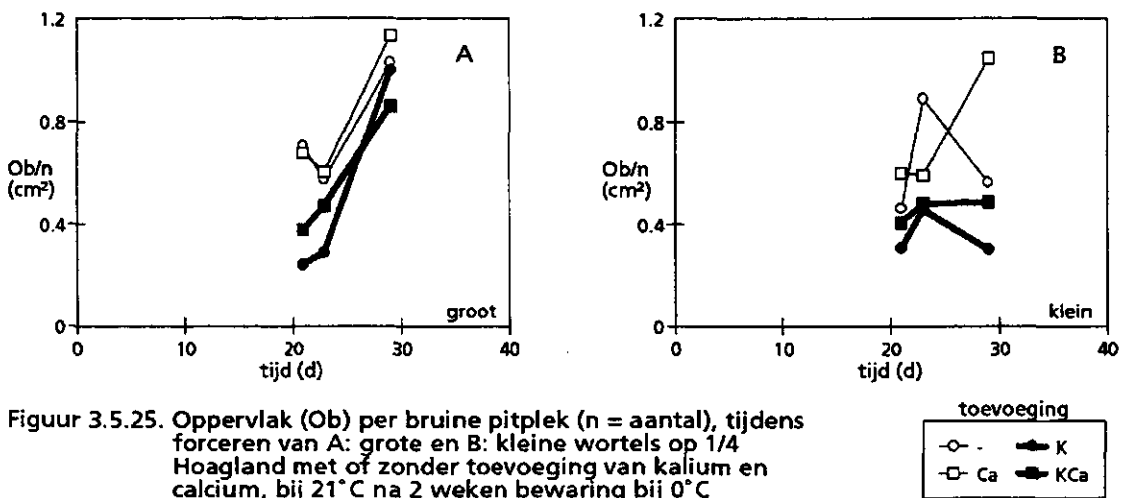
Na 29 dagen forceren was bij grote wortels het bruine pitoppervlak ook kleiner wanneer geforceerd werd op de complete voedingsoplossing (KCa) i.p.v. op een oplossing 'zonder' calcium maar met kalium (K).



Figuur 3.5.24. Aantal (n) bruine pitplekken per krop, tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

De toename van het bruine pitoppervlak kan een gevolg zijn van een toename in het aantal plekken, danwel in het oppervlak per plek.

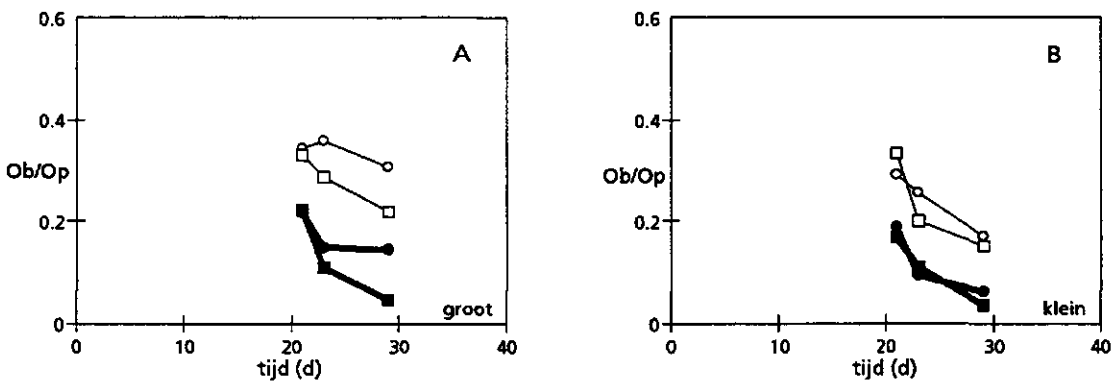
Bij grote wortels was de toename in het bruine pitoppervlak voor een deel te wijten aan een toename van het aantal plekken, vooral bij forceren op 'kaliumvrije' voedingsoplossingen (Fig. 3.5.24.A). De toename van het oppervlak per plek was echter op z'n minst even groot als de toename van het aantal plekken. Hoewel het oppervlak per plek ook kleiner is bij forceren op de kaliumhoudende voedingsoplossingen was de toename ervan tussen 21 en 29 dagen even groot als op 'kaliumvrije' oplossingen (Fig. 3.5.25.A). Dit betekent dat een geringer totaal bruin pitoppervlak bij langdurig forceren op kaliumhoudende oplossingen toe te schrijven is aan een beperking van het aantal plekken. Bij kleine wortels was er slechts een geringe toename van het totale bruine pitoppervlak en was er geen onderscheid te maken tussen de toename van aantal of oppervlak van de plekken.



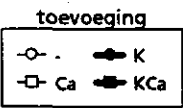
Figuur 3.5.25. Oppervlak (Ob) per bruine pitplek (n = aantal), tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C

De toename van het bruine pitoppervlak per krop tijdens forceren ging echter gepaard met een toename van het totale pitoppervlak. De relatieve bruinverkleuring van de pit, d.w.z. de verhouding van bruin en totaal pitoppervlak, nam in alle gevallen zelfs af tijdens forceren (Fig. 3.5.26). De pit groeide dus harder dan dat er bruinverkleuring optrad. Wel was de relatieve bruinverkleuring van de pit kleiner wanneer geforceerd werd op kaliumhoudende

voedingsoplossingen. Ook was de relatieve bruinverkleuring van de pit kleiner wanneer grote wortels geforceerd werden op calciumhoudende voedingsoplossingen. Bij kleine wortels was dat laatste niet het geval.



Figuur 3.5.26. Verhouding tussen bruine plek- (Ob) en pitoppervlak (Op) van de krop tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels op 1/4 Hoagland met of zonder toevoeging van kalium en calcium, bij 21°C na 2 weken bewaring bij 0°C



**3.6. Invloed van het stikstofgehalte van grote en kleine wortels, de bewaarduur, de forceertemperatuur en de concentratie van de voedingsoplossing op de krop-  
produktie en -kwaliteit (experiment 7 & 8)**

In vervolg op voorgaande experimenten waarin de invloed van het stikstofgehalte van de wortel op de kropvorming centraal stond (zie 3.4), zijn nog twee experimenten uitgevoerd met wortels die geteeld werden op met verschillende hoeveelheden stikstof bemeste grond. Naar aanleiding van de resultaten van de eerste experimenten (zie 3.2 en 3.2), waaruit bleek dat de wortelmaat een belangrijke factor in de kropvorming is, zijn de wortels per bemestingscategorie opgesplitst in twee maatklassen. Dit om na te gaan of de invloed van het stikstofgehalte van de wortel op het verloop van de krogroei verschilt tussen kleine en grote wortels. Hierbij is gekeken hoe de drogestof- en stikstofredistributie gedurende een lange forceerperiode verloopt en in welke mate dit door de concentratie van de voedingsoplossing wordt beïnvloed.

In de experimenten is gebruik gemaakt van partijen 'Flash' wortels afkomstig van velden die in verschillend met stikstof bemest waren: geen bemesting, 80 kg N/ha voor zaaien, 3x 50 kg N/ha tijdens teelt, of een combinatie van 80 kg N/ha voor zaaien en 3x 50 kg N/ha tijdens teelt. Ondanks de identieke teeltwijze was het stikstofgehalte van de wortels van alle bemestingscategoriën hoger dan in de experimenten 4 en 5. Dit gold met name voor de wortels van de laagste bemestingstrappen, zodat veel nauwere ranges van stikstofgehaltenes verkregen werden (zie Tabel 3.6.1).

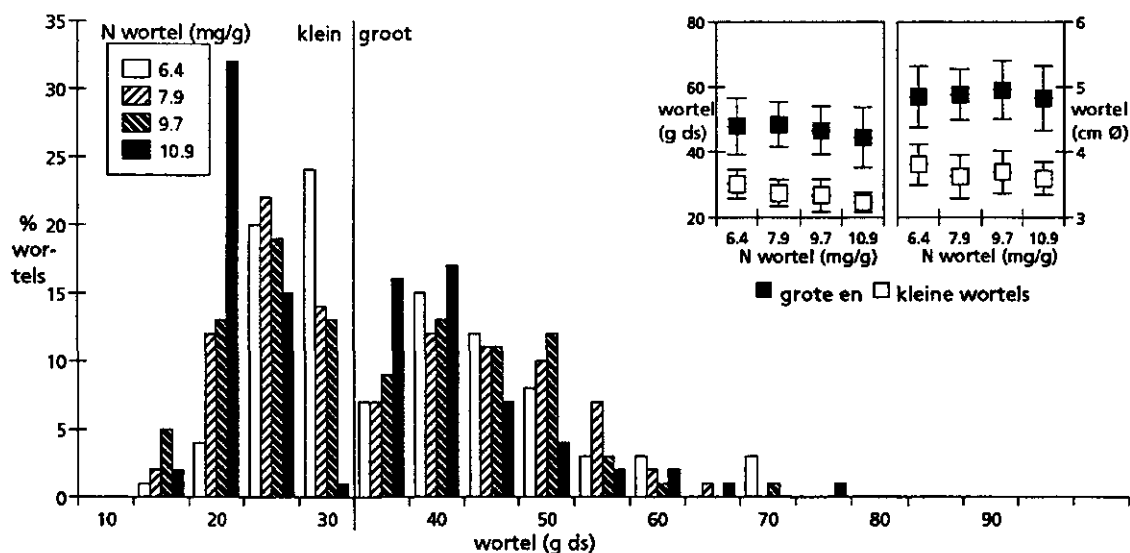
Tabel 3.6.1. Stikstofgehalte (mg N/g ds) van kleine en grote wortels geteeld op met verschillende hoeveelheden stikstof bemeste grond

bemesting	experiment 7			experiment 8			gemiddeld
(kg N/ha)	klein	groot	gem.	klein	groot		
0	6.0	5.9	6.0	6.8	6.7		6.4
80	7.6	7.6	7.6	8.0	8.2		7.9
3x50	9.3	9.8	9.6	10.0	9.7		9.7
80 + 3x50	10.5	10.7	10.6	11.1	11.2		10.9

Alle partijen wortels varieerden in gewicht van 15 tot 65 g drogestof, waarbij geen duidelijke verschillen in gemiddelde wortelmaat was waar te nemen. Wortels met een drogestofgewicht lager dan 35 g werden gekwalificeerd als klein, wat overeen kwam met een diameter van 4,25 cm als bovengrens (zie Fig. 3.6.1).

De klasse grote wortels kwam wat gemiddeld drooggewicht betreft vrijwel overeen met de ongeselecteerde groepen wortels van experiment 4 en 5, ca. 50 g (Fig. 3.4.1), terwijl het gemiddeld drooggewicht van de klasse kleine wortels nauwelijks 30 g bedroeg.

Vanwege de grotere omvang van de experimenten door het gebruik van kleine en grote wortels werd per experiment slechts bij één temperatuur geforceerd, nl. 18°C na 5 weken (experiment 7) en 15°C na 15 weken (experiment 8) bewaring van de wortels. Wel werden twee concentraties van de voedingsoplossing aangehouden. Deze waren hoger dan in de experimenten 4 en 5, nl. 1/4 en 1/2 Hoagland.

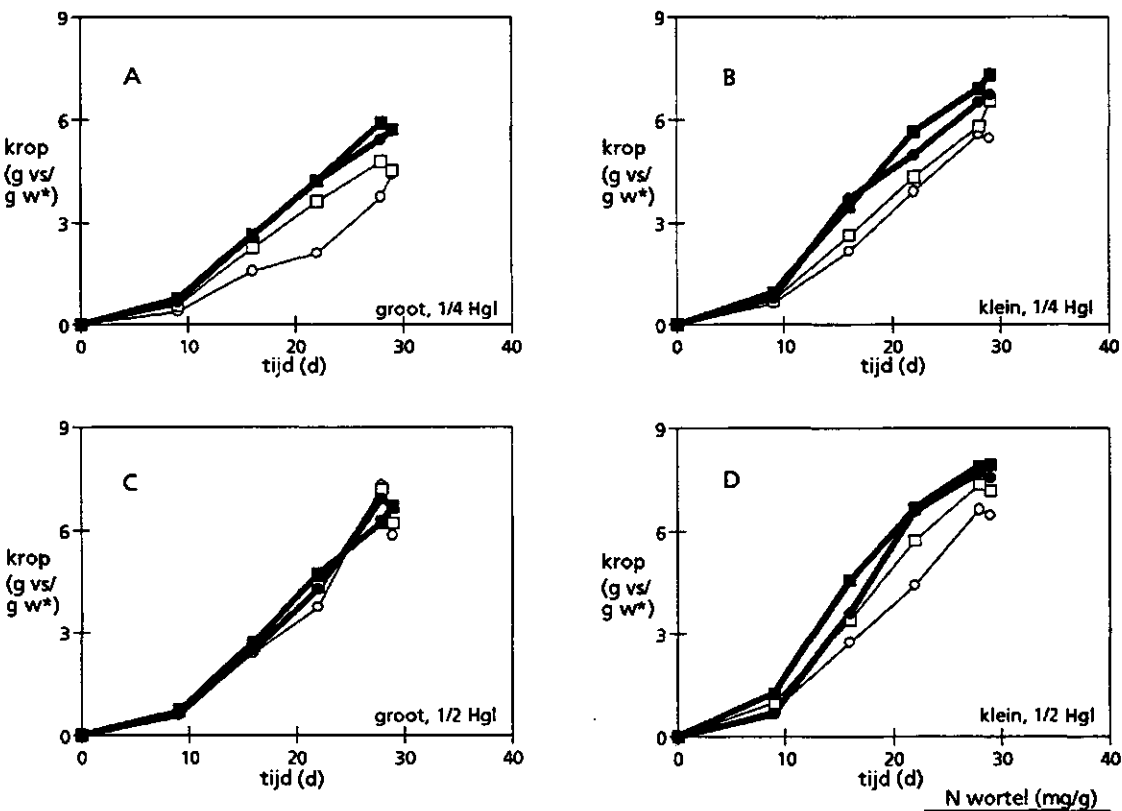


Figuur 3.6.1. Maatverdeling van de wortels in partijen grote en kleine wortels met een verschillende stikstofgehalte

Vanwege technische storingen bij het drogen van wortel- en kropmateriaal van de eerste 3 oogstdata van experiment 8, zijn de gegevens betreffende drogestof, stikstof, kalium en calcium van dag 10 en 15 niet betrouwbaar, en van dag 21 zelfs verloren gegaan. Over het verloop van drogestofredistributie en mineralenopname, tijdens forceren na 15 weken bewaring van de wortels, kunnen geen resultaten gepresenteerd worden, aangezien alleen de gegevens van dag 27 en 35 over blijven.

3.6.1. Kropproductie

Tijdens forceren bij 18°C na 5 weken bewaren was de verse krogroei relatief groter bij kleine dan bij grote wortels, maar was er nauwelijks verschil waar te nemen tussen wortels met een hoog en een relatief laag stikstofgehalte. Alleen de wortels met het laagste stikstofgehalte van 6,4 mg/g ds (en kleine wortels met een stikstofgehalte van 7,9 mg/g ds) hadden een iets geringere krogroei dan wortels met een hoog stikstofgehalte, wanneer geforceerd werd op 1/4 Hoagland (Fig. 3.6.2.A/B). Op 1/2 Hoagland was de krogroei alleen nog wat geringer bij kleine wortels met het laagste stikstofgehalte (Fig. 3.6.2.C/D). In alle gevallen bleef de krogroei redelijk constant toenemen tot het einde van de forceerperiode van 29 dagen. De krogroei tijdens forceren bij 15°C na 15 weken bewaring was vergelijkbaar met forceren bij 18°C na 5 weken bewaring. Niet alleen wat betreft het verloop tijdens forceren maar ook wat betreft de verhoudingen van krogroei tussen wortels met verschillende stikstofgehalten. Dat wil zeggen: alleen een geringere krogroei bij wortels met het laagste stikstofgehalte van 6,4 mg/g ds en kleine wortels met het een stikstofgehalte van 7,9 mg/g ds. Ook na 15 weken bewaring bleef de krogroei redelijk constant toenemen tijdens forceren. Alleen aan het einde van de in dit experiment langere forceerperiode van 35 dagen werd de krogroei iets geringer.



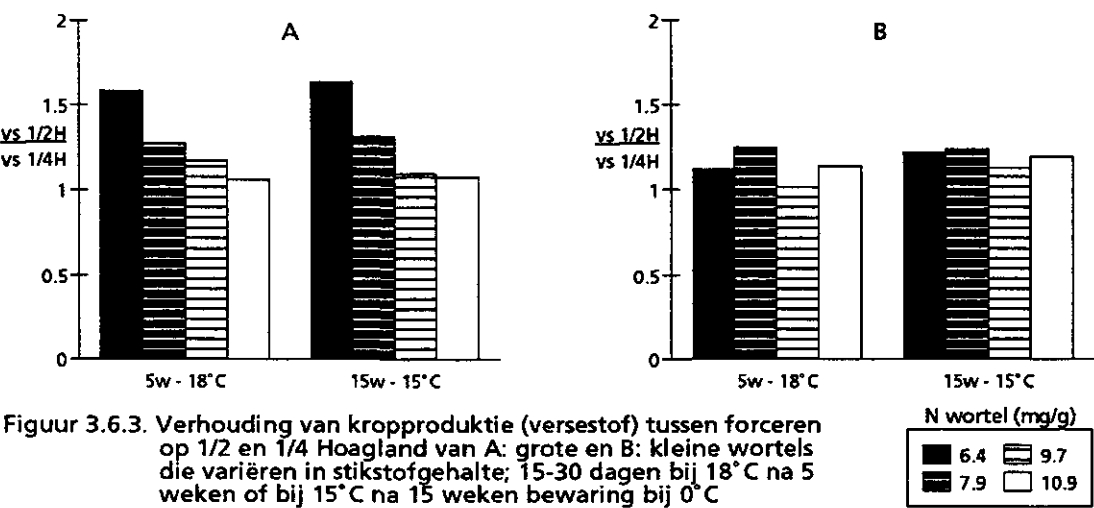
Figuur 3.6.2. Kropproductie (versestof) tijdens forceren van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C. A,B: 1/4 Hoagland. C,D: 1/2 Hoagland

N wortel (mg/g)  
○ 6.4    ● 9.7  
□ 7.9    ■ 10.9

De krogroei bij forceren van kleine wortels was, zowel na 15 als na 5 weken bewaring, relatief groter dan bij grote wortels, d.w.z. per gram oorspronkelijke drogestof van de wortel



(Fig. 3.6.2). Gemiddeld was de relatieve kropproductie 1,25x groter bij kleine wortels, ongeacht het stikstofgehalte. Alleen was er een onderscheid te maken tussen forceren op 1/4 of 1/2 Hoagland, namelijk een resp. 1,3 of 1,2x zo grote relatieve kropproductie bij kleine wortels. Dit is waarschijnlijk te wijten aan de ongelijke invloed die een sterker geconcentreerde voedingsoplossing heeft op grote en kleine wortels. Tijdens forceren op 1/4 Hoagland is er nog wel een verschil in verse kropproductie tussen stikstofrijke en -arme wortels. Bij grote wortels op 1/2 Hoagland is er echter geen verschil meer waar te nemen.

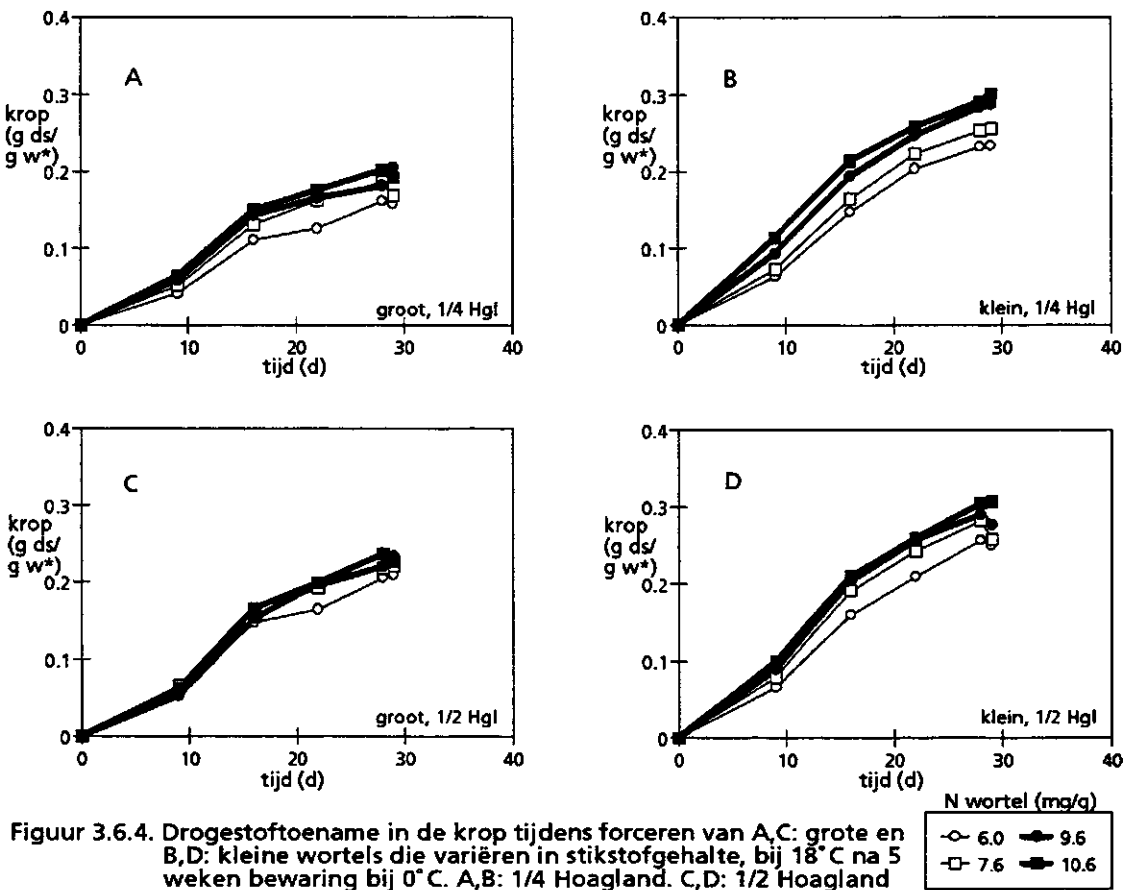


Figuur 3.6.3. Verhouding van kropproductie (versestof) tussen forceren op 1/2 en 1/4 Hoagland van A: grote en B: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte; 15-30 dagen bij 18°C na 5 weken of bij 15°C na 15 weken bewaring bij 0°C

Dit betekent dat, wanneer over een forceerperiode van 15 tot 30 dagen de verhouding tussen kropproductie op 1/2 en op 1/4 Hoagland wordt gemiddeld, de kropproductie bij stikstofarme wortels ruim 1,5x groter was, terwijl die bij stikstofrijke wortels vrijwel hetzelfde bleef (Fig. 3.6.3.A). Bij kleine wortels was de kropproductie ook wel iets hoger tijdens forceren op 1/2 i.p.v. 1/4 Hoagland, maar hierbij was geen verschil waar te nemen tussen stikstofrijke en -arme wortels (Fig. 3.6.3.B). Dit had tot gevolg dat, ook op 1/2 Hoagland, de kropproductie van kleine stikstofarme wortels geringer was dan van kleine stikstofrijke wortels (Fig. 3.6.2.D).

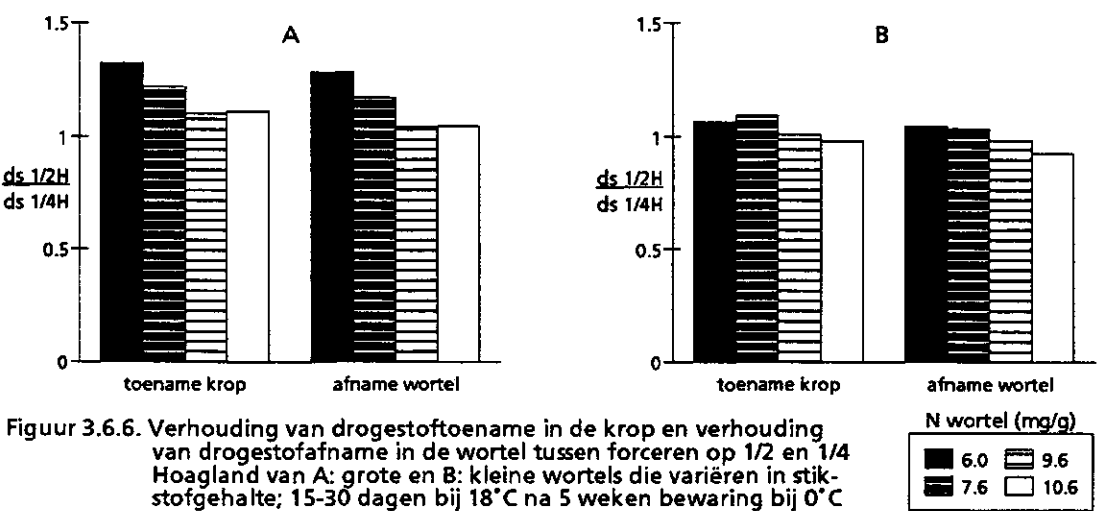
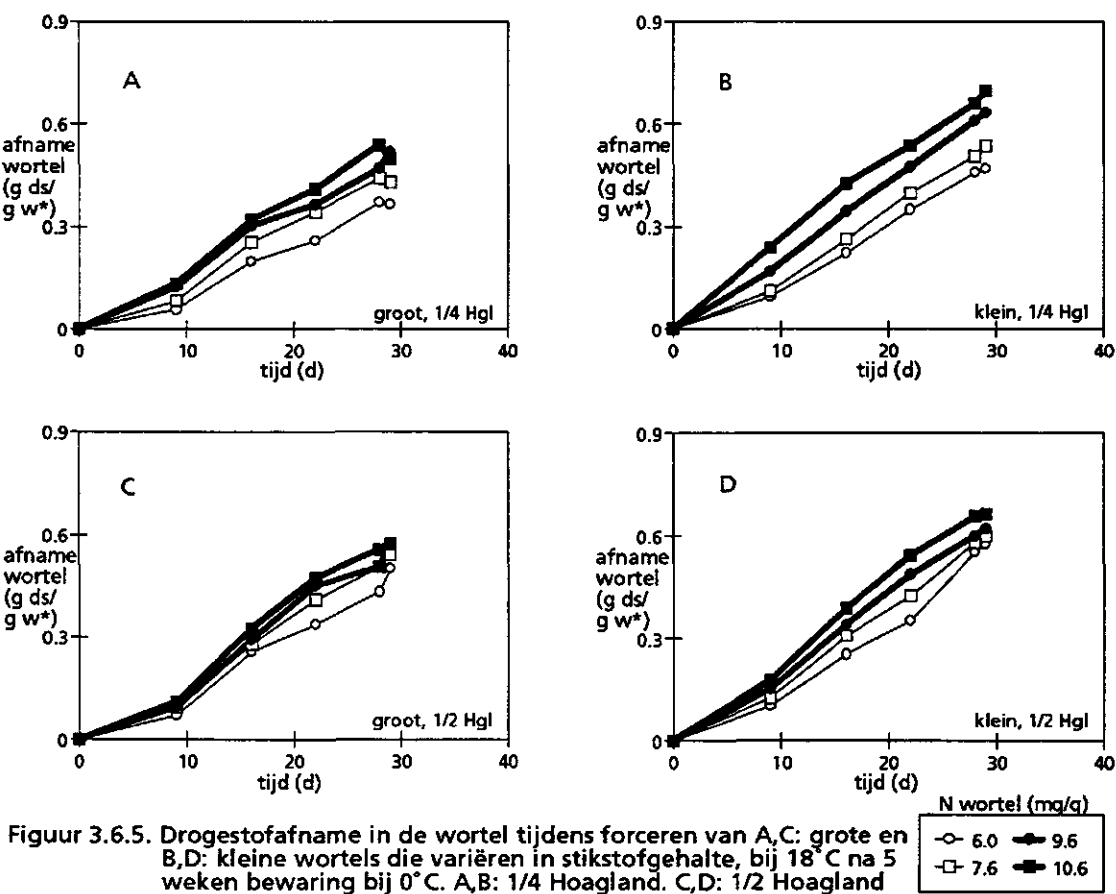
3.6.2. Drogestofredistributie

In tegenstelling tot de verse kropproductie, die in het begin van forceren relatief laag was, maar vervolgens tot 30 dagen met een constante snelheid sterk toenam, werd de drogestof-toename in de krop reeds na 16 dagen minder. Na 29 dagen forceren was echter bij geen van de wortels of forceeromstandigheden een maximum van drogestofproductie bereikt. De verschillen in drogestofproductie tussen stikstofrijke en -arme wortels waren vrijwel hetzelfde als in de verse kropproductie: de wortels met het laagste stikstofgehalte van 6,4 mg/g ds (en kleine wortels met een stikstofgehalte van 7,9 mg/g ds) hadden een geringere drogestofproductie dan wortels met een hoog stikstofgehalte, wanneer geforceerd werd op 1/4 Hoagland (Fig. 3.6.4.A/B). Op 1/2 Hoagland was de drogestofproductie alleen nog wat geringer bij kleine wortels met het laagste stikstofgehalte (Fig. 3.6.4.C/D).



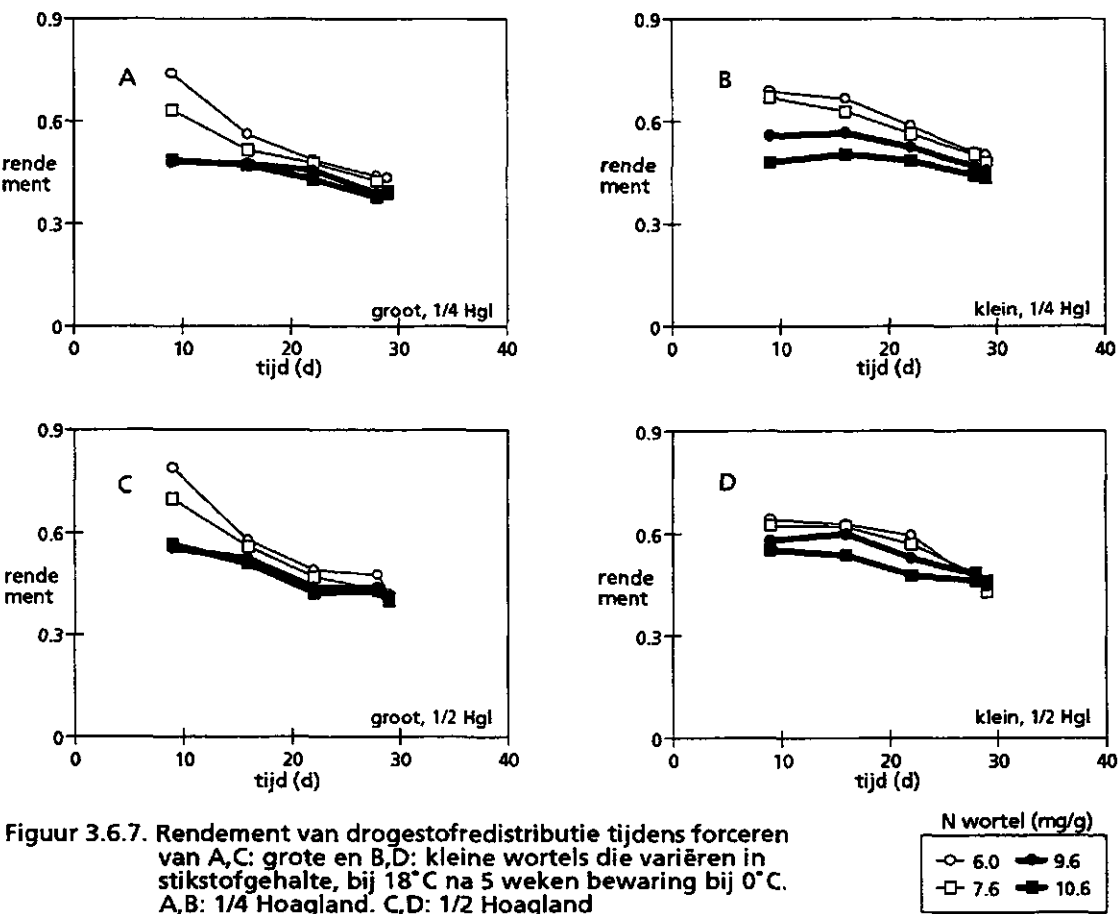
Een andere overeenkomst met de verse kropproductie was dat ook de drogestofproductie relatief groter was bij kleine dan bij grote wortels en bovendien in een nog sterkere mate, nl. 1,37x ongeacht het stikstofgehalte. Dit verschil tussen kleine en grote wortels was het sterkst bij 1/4 Hoagland, 1,46x tegen 1,28x bij 1/2 Hoagland. De afname van drogestof in de wortel verloopt gedurende de gehele forceerperiode zeer gelijkmatig, in tegenstelling tot zowel de verse- als de drogestofproductie van de krop (Fig. 3.6.5). Een opmerkelijk verschil is dat de drogestofafname in de wortel in alle gevallen groter is bij een hoger stikstofgehalte, en dus niet alleen lager bij het laagste stikstofgehalte van de

wortel. Hoewel iets minder uitgesproken, zijn deze verschillen in drogestofafname tussen stikstofrijke en -arme wortels ook bij forceren op 1/2 Hoagland aanwezig (Fig. 3.6.5.C/D).



Ondanks de bijna anderhalf maal grotere drogestofproductie in de krop bij kleine wortels is de drogestofafname maar 1,23x groter dan in grote wortels. Ook hier is het effect groter bij forceren op 1/4 Hoagland, nl. 1,28x tegen 1,18x op 1/2 Hoagland. Dit verschil tussen 1/4 en 1/2 Hoagland is, evenals bij de verse kropproductie, te wijten aan de

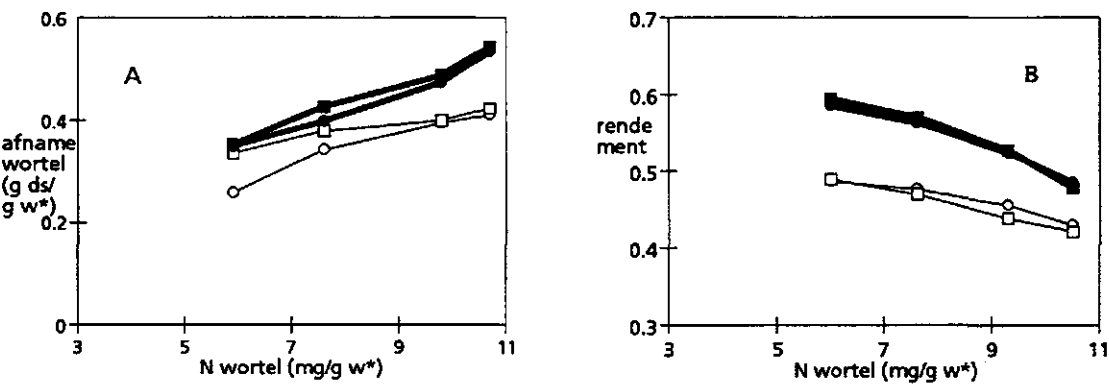
grote invloed die een sterker geconcentreerde voedingsoplossing heeft op de drogestofafname en -produktie bij stikstofarme grote wortels (Fig. 3.6.6.A). Bij kleine wortels heeft een sterker geconcentreerde voedingsoplossing geen effect op de drogestofafname of de drogestofproduktie (Fig. 3.6.6.B). De constante drogestofafname in de wortels tegenover de steeds geringere toename van de kropdrogestof tijdens forceren heeft tot gevolg dat het rendement van drogestofredistributie geleidelijk afneemt. Evenals in voorgaande experimenten (4 & 5; 3.4) was het rendement groter bij stikstofarme dan bij stikstofrijke wortels. Deze verschillen in rendement werden kleiner naarmate langer werd geforceerd (Fig. 3.6.7).



Figuur 3.6.7. Rendement van drogestofredistributie tijdens forceren van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C. A,B: 1/4 Hoagland. C,D: 1/2 Hoagland

Het verloop van het rendement van drogestofredistributie was vrijwel hetzelfde tijdens forceren op 1/2 als op 1/4 Hoagland, zowel bij kleine als bij grote wortels. Het rendementverloop was echter wel verschillend tussen kleine en grote wortels. Het rendement was bovendien constant groter bij kleine dan bij grote wortels, behalve bij stikstofarme wortels op het eerste meettijdstip na 10 dagen forceren. De invloed van wortelmaat en concentratie van de voedingsoplossing op de drogestofafname in de wortel en op het rendement van drogestofredistributie bij stikstofrijke en -arme wortels is goed te zien wanneer gekeken wordt op één tijdstip, na 22 dagen forceren (Fig. 3.6.8). De drogestofafname in de wortel na forceren op 1/4 Hoagland neemt toe met het stikstofgehalte en is aanzienlijk groter in kleine dan in grote wortels. Forceren op 1/2 Hoagland heeft echter alleen effect op de drogestofafname in grote wortels (Fig. 3.6.8.A). Het rendement van

drogestofredistributie neemt daarentegen af met een hoger stikstofgehalte van de wortel en is ruim 20% groter voor kleine dan voor grote wortels, ongeacht het stikstofgehalte. De concentratie van de voedingsoplossing heeft noch bij kleine, noch bij grote wortels enig effect op het rendement (Fig. 3.6.8.B).

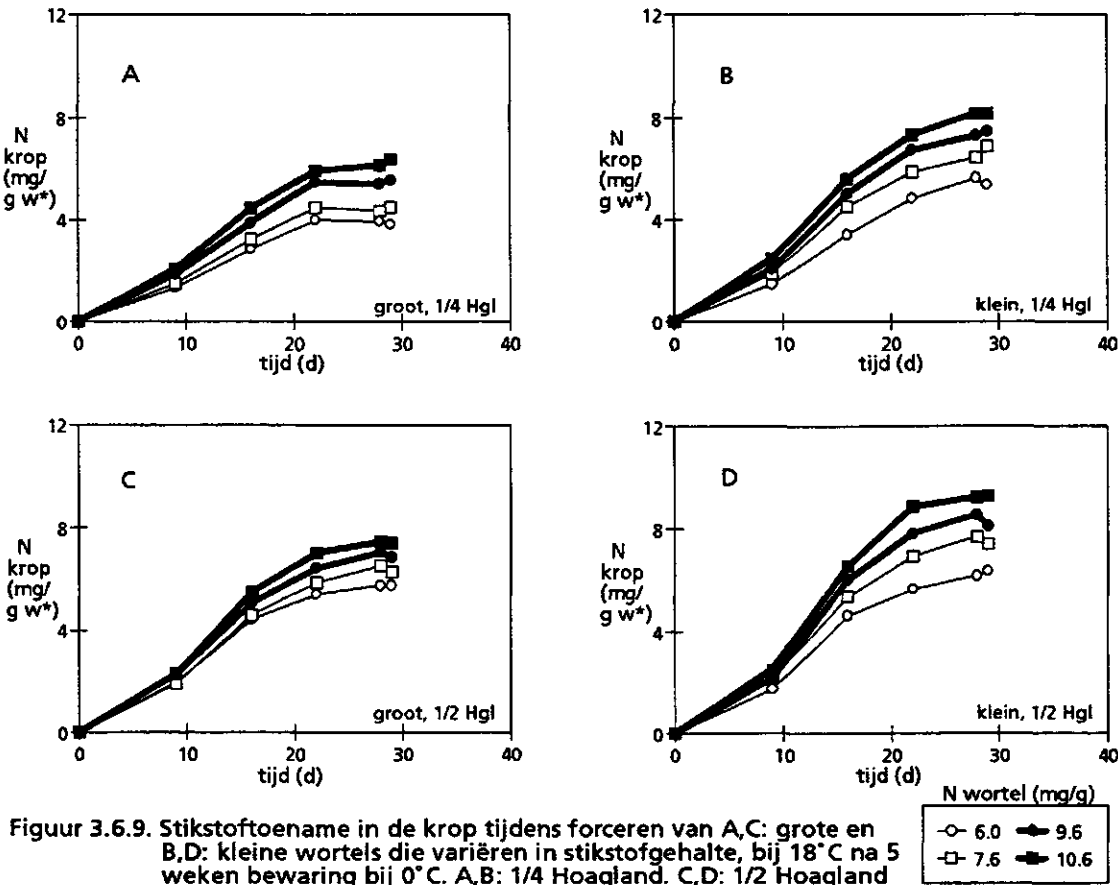


Figuur 3.6.8. A: Drogestofafname in de wortel en B: rendement van de redistributie in relatie tot het stikstofgehalte van grote en kleine wortels, na 22 dagen forceren bij 15°C na 15 weken bewaring bij 0°C

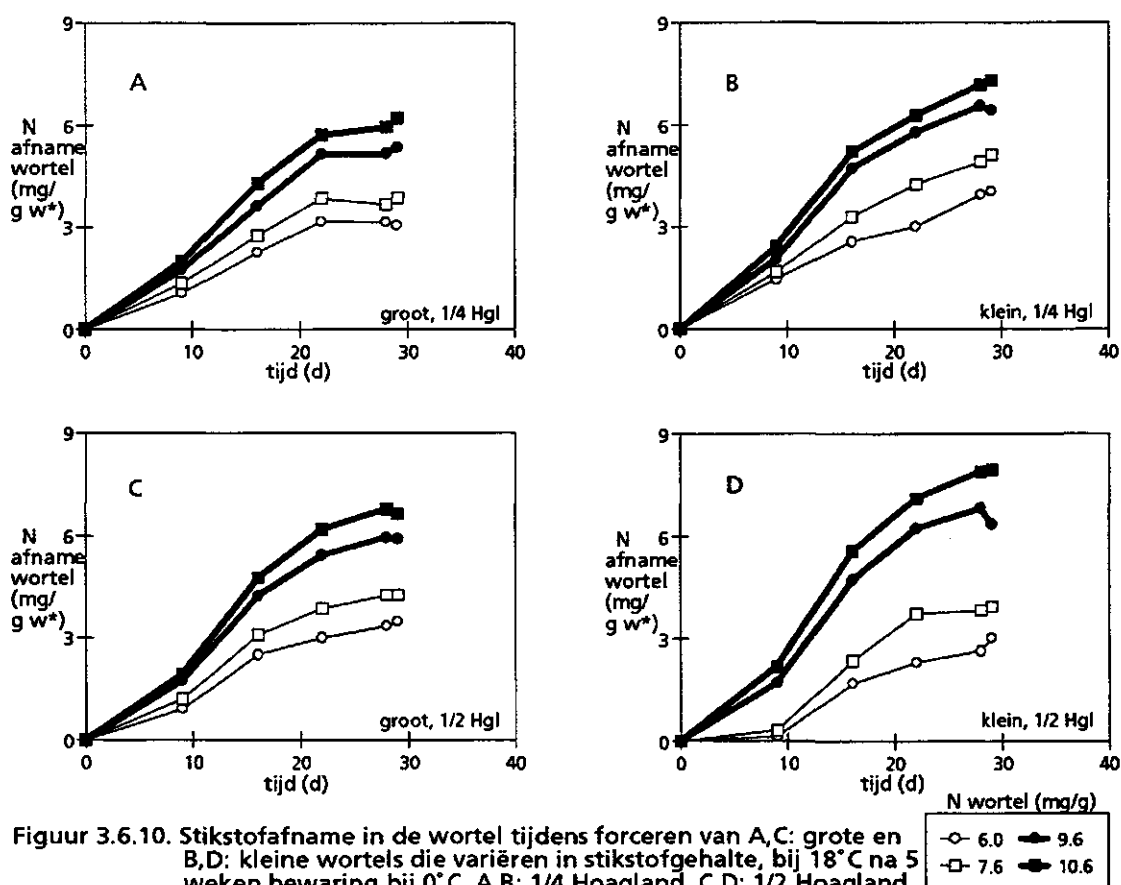
maat / Hoagland  
-○- groot, 1/4 -●- klein, 1/4  
-□- groot, 1/2 -■- klein, 1/2

3.6.3. Stikstofredistributie

In overeenstemming met de resultaten van de voorgaande experimenten (4 en 5) met wortels die variëren in stikstofgehalte, verliep de stikstoftoename van de krop tijdens forceren parallel aan de drogestoftoename (zie 3.4. en 3.4.3). Hoewel kleiner dan in voorgenoemde experimenten was er duidelijk een verschil waar te nemen in stikstoftoename van de krop tussen stikstofrijke en -arme wortels, zowel bij grote als kleine wortels (Fig. 3.6.9). Aangezien de verse kropproductie en de drogestoftoename van de kroppen niet of nauwelijks verschilden tussen stikstofrijke en -arme wortels, heeft dit ook implicaties voor het stikstofgehalte van de krop, op droge- én op versestofbasis.



De stikstoftoename van de krop was groter bij kleine dan bij grote wortels ongeacht het stikstofgehalte, nl. 1,22x. Dit is geringer dan het verschil in drogestoftoename, maar vrijwel gelijk aan het verschil in verse kropproductie. Ook het verschil in kroppstikstoftoename tussen kleine en grote wortels was afhankelijk van de voedingsoplossing, namelijk 1,29 en 1,15x zo groot bij kleine wortels op resp. 1/4 en 1/2 Hoagland. De stikstofafname in de wortel was sterk afhankelijk van het stikstofgehalte, meer dan de totale stikstoftoename in de krop (Fig. 3.6.10). Dit laatste is te wijten aan een verschil in stikstofopname uit de voedingsoplossing. Evenals de stikstoftoename in de krop was de stikstofafname groter in kleine wortels ongeacht het stikstofgehalte, althans op 1/4 Hoagland voedingsoplossing, nl. 1,20x.



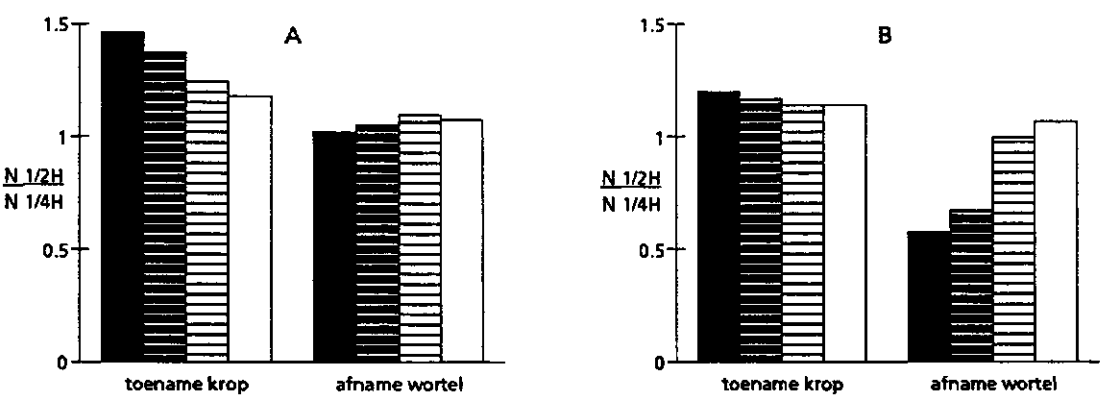
Figuur 3.6.10. Stikstofafname in de wortel tijdens forceren van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C. A,B: 1/4 Hoagland. C,D: 1/2 Hoagland

Op 1/2 Hoagland was de stikstofafname in kleine wortels gemiddeld 0,93x, d.w.z. kleiner dan die in grote wortels. Dit verschil was echter wel afhankelijk van het stikstofgehalte van de wortel: in kleine stikstofarme wortels was de stikstofafname 0,67x die in grote, terwijl in kleine stikstofrijke wortels de stikstofafname 1,17x die in grote wortels was. Dit betekent dat er wat de verhouding in stikstofafname tussen kleine en grote wortels betreft bij stikstofrijke wortels nauwelijks iets verandert wanneer op een sterker geconcentreerde voedingsoplossing wordt geforceerd, maar dat bij kleine stikstofarme wortels de stikstofafname aanzienlijk wordt gereduceerd. Dit is het duidelijkst zichtbaar aan de verhouding van stikstofafname in de wortel tussen 1/2 en 1/4 Hoagland.

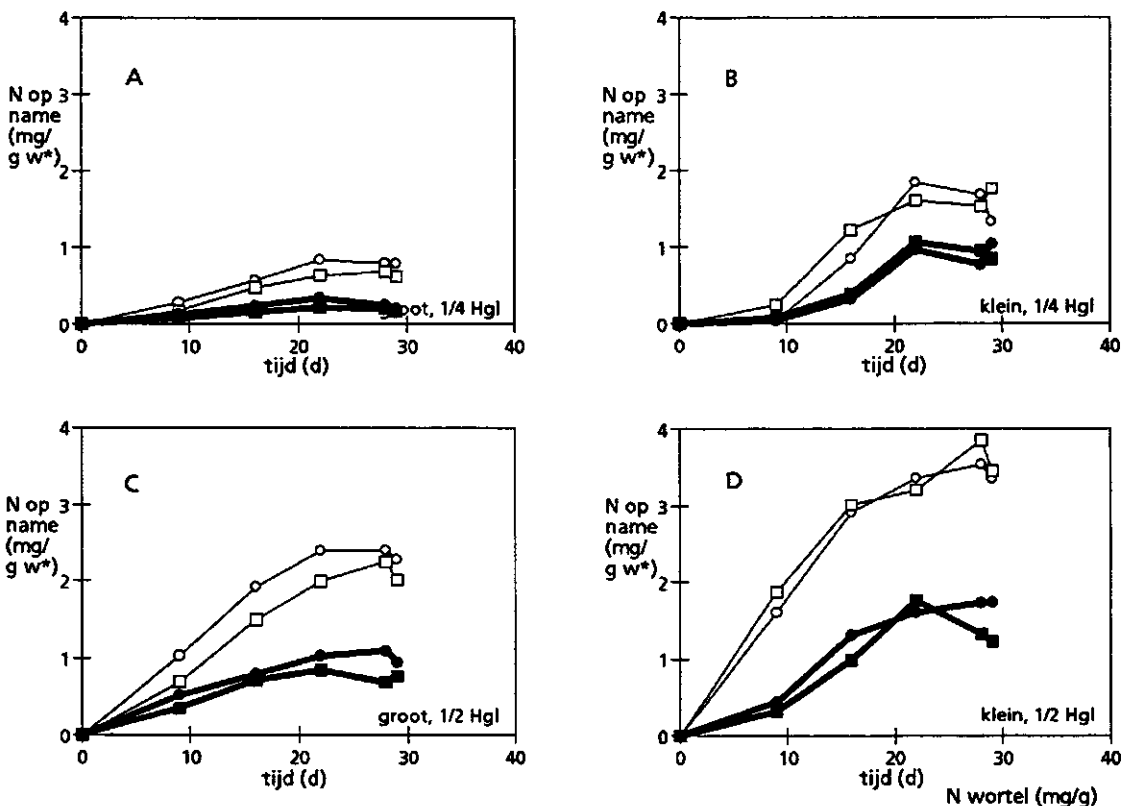
De stikstoftoename in de krop was in alle gevallen groter op 1/2 dan op 1/4 Hoagland, maar bij grote wortels was dat verschil groter wanneer het stikstofarme wortels betrof (Fig. 3.6.11.A), terwijl dat bij kleine wortels niets uitmaakte (Fig. 3.6.11.B). Dit verschijnsel is hetzelfde als bij de drogestoftoename van de krop (zie Fig. 3.6.6).

Hoewel het verschil in stikstoftoename van de krop tussen 1/2 en 1/4 Hoagland groter was bij grote stikstofarme dan bij grote stikstofrijke wortels, was er nauwelijks een verschil in stikstofafname in grote wortels tussen 1/2 en 1/4 Hoagland, nl. 1,06x onafhankelijk van het stikstofgehalte (Fig. 3.6.11.A.). Dit betekent dat de voedingsoplossing geen effect heeft op de stikstofafname in grote wortels.

Bij kleine wortels daarentegen, had een sterker geconcentreerde voedingsoplossing een grotere stikstoftoename van de krop tot gevolg die hetzelfde was voor stikstofrijke en -arme wortels. De stikstofafname in de kleine wortels was echter juist kleiner op 1/2 dan op 1/4 Hoagland wanneer het stikstofarme wortels betrof, terwijl die net als bij grote wortels vrijwel hetzelfde was wanneer het stikstofrijke wortels betrof, nl. 1,06x (Fig. 3.6.11.B).



Figuur 3.6.11. Verhouding van stikstoftoename in de krop en verhouding van stikstofafname in de wortel tussen forceren op 1/2 en 1/4 Hoagland van A: grote en B: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte; 15-30 dagen bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C.

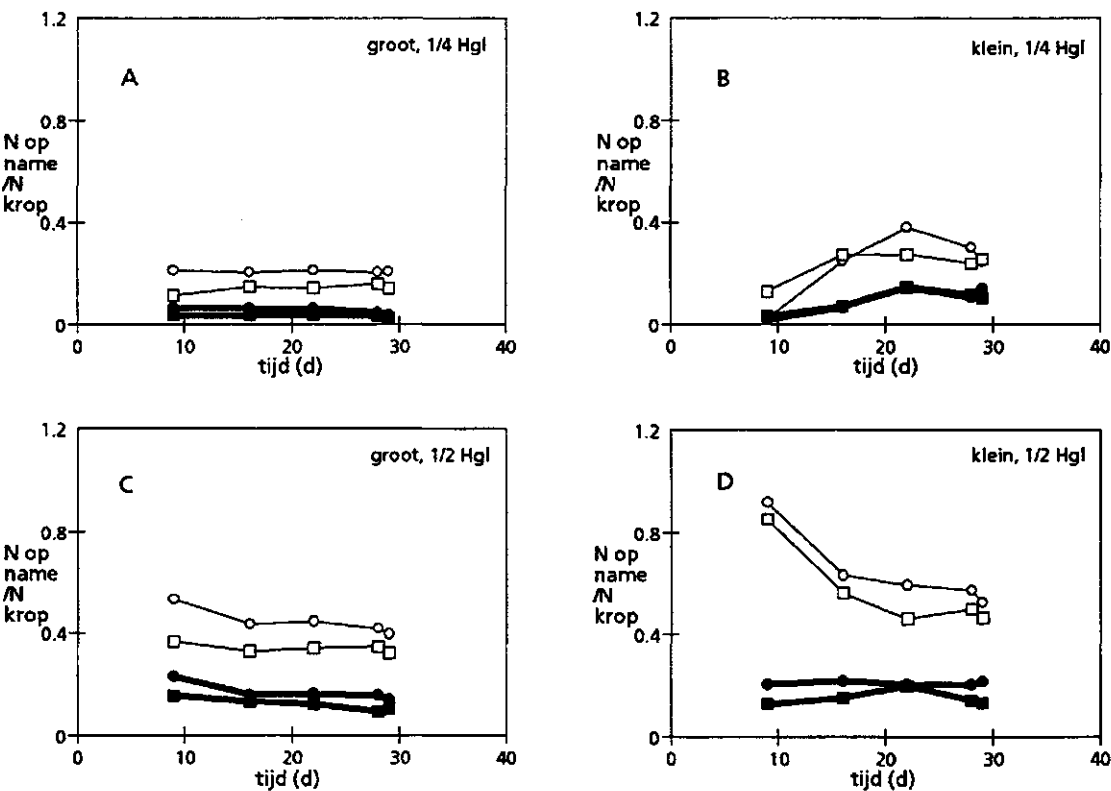


Figuur 3.6.12. Stikstofopname tijdens forceren van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C. A,B: 1/4 Hoagland. C,D: 1/2 Hoagland

De stikstofopname uit de voedingsoplossing compenseerde voor een deel het tekort aan stikstof dat uit de wortel kon worden geredistribueerd. De opname van stikstof was groter bij stikstofarme dan bij stikstofrijke wortels, in de meeste gevallen meer dan 2x zo hoog (Fig. 3.6.12). Opvallend was dat de stikstofopname bij kleine wortels aanzienlijk groter was dan bij grote wortels bij forceren op 1/4 Hoagland voedingsoplossing: van 1,5 tot 3,5x bij resp. stikstofarme en -rijke wortels, gemiddeld zo'n 2,4x (Fig. 3.6.12.A/B). Op 1/2 Hoagland namen alle wortels meer stikstof op, maar de verschillen tussen opname door kleine en grote wortels waren minder, nl. gemiddeld 1,6x zo groot in kleine als in grote wortels (Fig. 3.6.12.C/D).



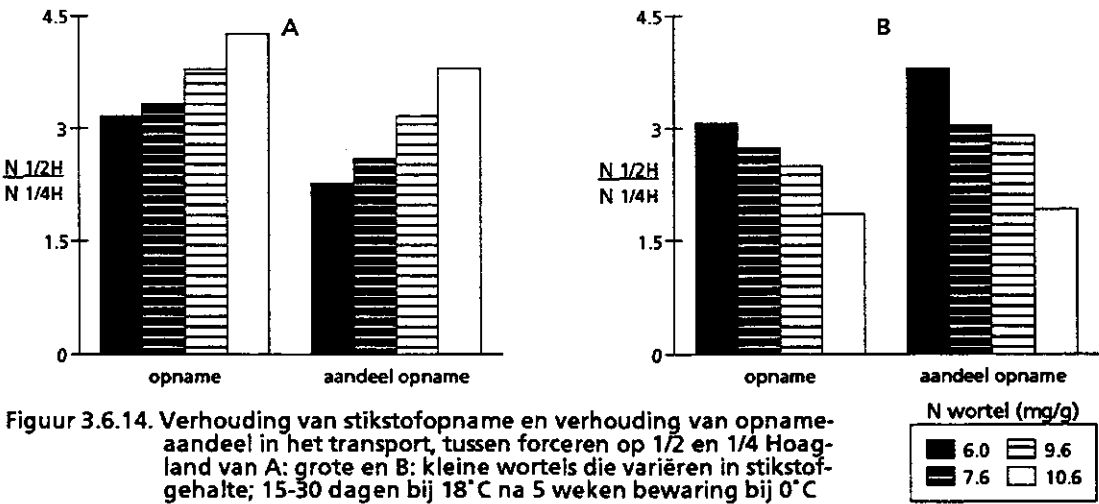
Afgezien van een aantal afwijkende meetwaarden op het eerste oogsttijdstip, was het aandeel van de stikstofopname in de totale stikstoftoename van de krop redelijk constant tijdens forceren. Evenals de stikstofopname 'an sich', was het aandeel van de opname in het stikstoftransport naar de krop veel groter bij stikstofarme dan bij stikstofrijke wortels (Fig. 3.6.13).



Figuur 3.6.13. Aandeel van de opname in het stikstoftransport naar de krop tijdens forceren van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C. A,B: 1/4 Hoagland. C,D: 1/2 Hoagland

In het algemeen was het aandeel van stikstofopname ook groter bij kleine dan bij grote wortels, nl. 1,2x voor stikstofarme en 2,2x voor stikstofrijke wortels tijdens forceren bij 1/4 Hoagland. Op 1/2 Hoagland was dit 1,8 en 1,1 voor resp. stikstofarme en -rijke wortels. Deze omgekeerde afhankelijkheid van het stikstofgehalte bij 1/2 Hoagland heeft te maken met hiervoor beschreven ongelijke invloed van een sterker geconcentreerde voedingsoplossing op de stikstofredistributie bij grote en kleine wortels. Bovendien was de invloed van de voedingsoplossing op de stikstofopname ook niet hetzelfde voor grote en kleine wortels. Dit blijkt duidelijk uit de verhoudingen van stikstofopname tussen forceren op 1/2 en 1/4 Hoagland.

Voor grote wortels is het verschil in stikstofopname tussen 1/2 en 1/4 Hoagland groter bij stikstofrijke dan bij stikstofarme wortels, terwijl dat voor kleine wortels juist omgekeerd is (Fig. 3.6.14). Vanwege de relatief kleine verschillen in de stikstoftoename van de krop geldt dat ook voor het aandeel van de stikstofopname in de kropstikstoftoename. De invloed van wortelmaat en concentratie van de voedingsoplossing op de redistributie en opname van stikstof bij stikstofrijke en -arme wortels wordt wat overzichtelijker wanneer gekeken wordt op één tijdstip, na 22 dagen forceren (Fig. 3.6.15).



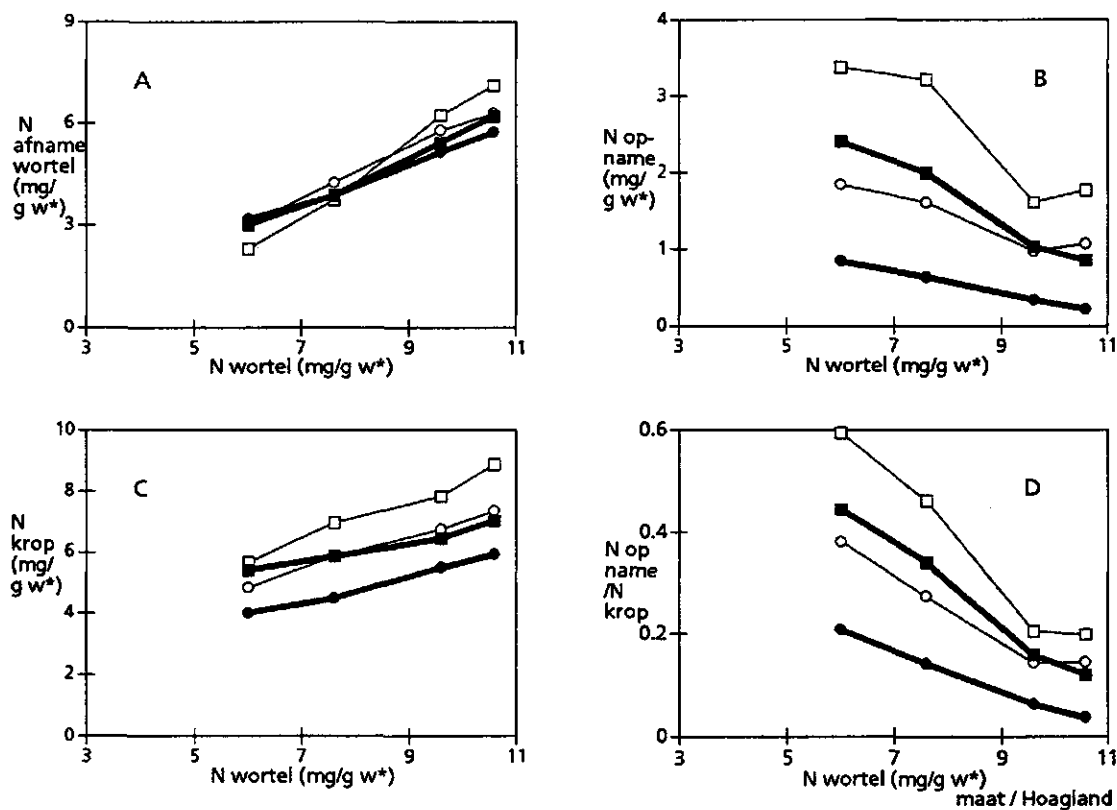
De stikstofafname in de wortel nam sterk toe met het stikstofgehalte van de wortel. Dit gold voor zowel kleine als grote wortels (Fig. 3.6.15.A). De stikstofafname in grote wortels was vrijwel hetzelfde op 1/2 als op 1/4 Hoagland. In kleine wortels was de stikstofafname wat groter dan in grote wortels, maar forceren op 1/2 i.p.v. op 1/4 Hoagland had een negatief effect op de stikstofafname bij stikstofarme (kleine) wortels. De verschillen in stikstofafname tussen kleine en grote wortels en tussen forceren op 1/2 en 1/4 Hoagland waren nochtans gering vergeleken met de verschillen tussen stikstofrijke en -arme wortels.

De stikstofopname uit de voedingsoplossing was juist groter bij stikstofarme dan bij -rijke wortels. Deze opname was duidelijk wel afhankelijk van zowel de wortelmaat als de concentratie van de voedingsoplossing (Fig. 3.6.15.B). De stikstofopname was bij kleine stikstofrijke en -arme wortels altijd aanzienlijk groter dan bij grote wortels. Een sterker geconcentreerde voedingsoplossing had in alle gevallen een grotere stikstofopname tot gevolg, maar het relatieve toename van de stikstofopname was bij kleine wortels het grootst wanneer het stikstofarme wortels betrof, terwijl het bij grote wortels het grootst was wanneer het stikstofrijke wortels betrof.

Een grotere stikstofopname bij stikstofarme wortels compenseerde gedeeltelijk de geringere stikstofredistributie uit de wortel, waardoor de verschillen in de hoeveelheid stikstof in de krop tussen stikstofrijke en -arme wortels veel minder groot waren dan de redistributie uit de wortel (Fig. 3.6.15.C). Bij kleine wortels versterkte de grotere stikstofopname de toch al grotere afname in die wortels. De stikstoftoename in de krop was, in tegenstelling tot de afname in de wortel, dan ook aanzienlijk groter bij kleine dan bij grote wortels en ook wanneer werd geforceerd op 1/2 i.p.v. op 1/4 Hoagland.

Doordat de stikstofopname een negatieve relatie met het stikstofgehalte van de wortel vertoont en de stikstoftoename juist een positieve, is het aandeel van de opname in de stikstoftoename van de krop nog sterker negatief gecorreleerd aan het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.6.15.D). De invloed van wortelmaat en van de concentratie van de voedingsoplossing op het aandeel van de opname in de stikstoftoename van de krop vertoonde dezelfde tendenzen als bij de stikstofopname zelf.

Zoals al eerder vermeld is reeds op moment van rooien van de wortels vrijwel alle in de wortel aanwezige stikstof ingebouwd in organische verbindingen als aminozuren en eiwitten, en is slechts minder dan 1% nog aanwezig in de vorm van nitraat. In de voorgaande experimenten (4 en 5) met wortels die variëren in stikstofgehalte werd de aminozuursamenstelling van de wortels bepaald na 15 weken bewaring. Ruim 90% van de aminozuren was toen nog in eiwitten gebonden (zie 3.4.3).

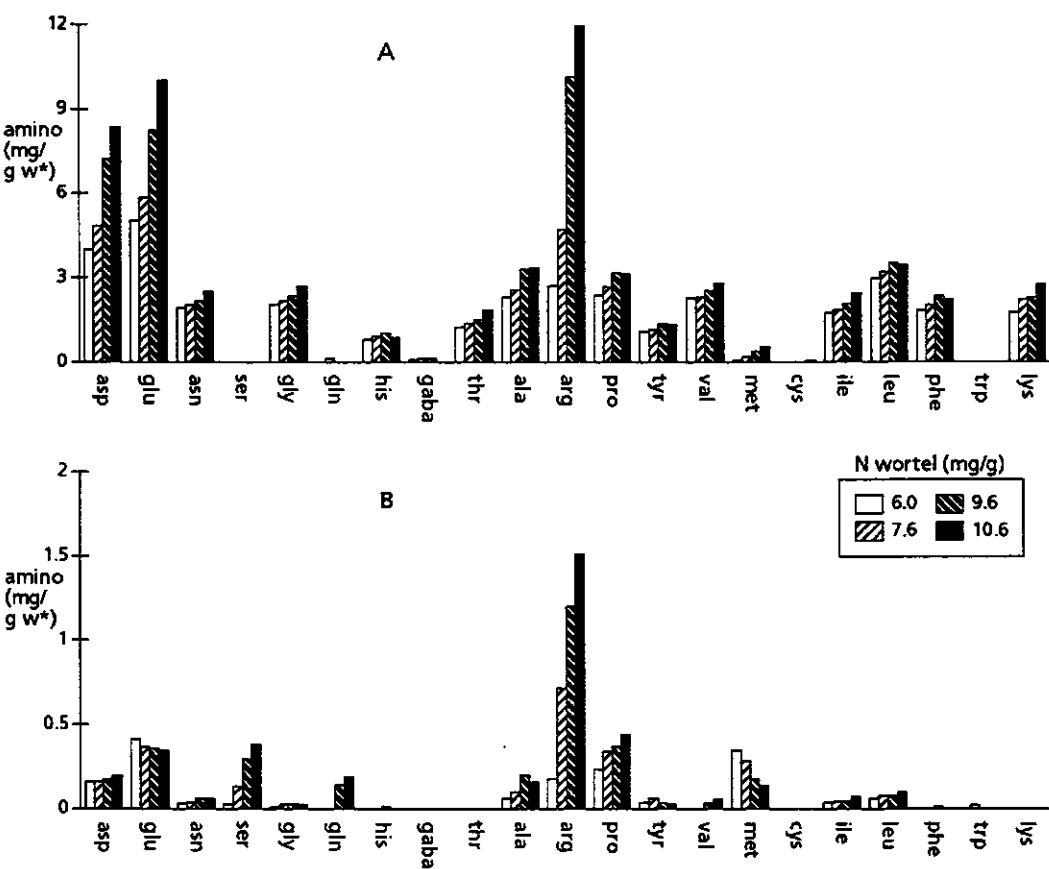


Figuur 3.6.15. A: Stikstofafname in de wortel en B: stikstofopname uit de voedingsoplossing, C: totaal stikstoftransport naar de krop en D: het aandeel van opname aan het transport, in relatie tot het stikstofgehalte van grote en kleine wortels, na 22 dagen forceren op 1/4 of 1/2 Hoagland voedingsoplossing bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C

In deze experimenten (7 en 8) is de aminozuursamenstelling van de wortels bepaald na 5 weken bewaring. Na deze 5 weken bewaring bleek circa 95% van de aminozuren in eiwitten gebonden te zijn. Hoewel iets minder sterk dan na 15 weken bewaring bleek de hoeveelheid vrije aminozuren niet alleen absoluut, maar ook relatief groter in stikstofrijke wortels, nl. 5,9% van alle aminozuren tegen 4,5% in stikstofarme wortels. De samenstelling van aminozuren in de eiwitten was redelijk gelijk in de verschillende wortels (Fig. 3.6.16.A) en vertoonde veel overeenkomst met de eiwitsamenstelling van de wortels na 15 weken bewaring (zie Fig. 3.4.16.A), maar er was echter één opvallend verschil. In de eiwitsamenstelling na 15 weken bewaring van stikstofrijke wortels bestond 25% uit arginine en proline, waarin beide aminozuren een evenredig aandeel hadden. Na 5 weken bewaring bestonden de eiwitten weliswaar ook voor 25% uit arginine en proline, maar was arginine verreweg het hoofdbestanddeel, nl. 20% tegen 5% proline. Andere aminozuren die een groot aandeel in de worteleiwitten vormden, en in toenemende mate met het stikstofgehalte van de wortel, waren asparaginezuur en glutaminezuur (Tabel 3.6.2.A). Het aandeel van deze aminozuren was nog iets groter na 5 weken dan na 15 weken bewaring (zie ook Tabel 3.4.1.A). Daarnaast waren aminozuren die ook een groot aandeel in de worteleiwitten vormden, maar in afnemende mate met het stikstofgehalte van de wortel, asparagine, glycine en leucine, in iets geringere mate aanwezig na 5 weken dan na 15 weken bewaren. In totaal bestond 62 tot 70% van de

worteleiwitten uit deze 7 aminozuren: asparaginezuur, glutaminezuur, arginine, proline, asparagine, glycine en leucine.

Evenals na 15 weken bewaring was de samenstelling van de vrije aminozuren duidelijk verschillend van de eiwitsamenstelling. Aminozuren die in aanzienlijke hoeveelheden in eiwitten werden aangetroffen kwamen niet of nauwelijks in de vrije vorm voor, zoals asparagine, glycine, histidine, threonine, tyrosine, valine, isoleucine, phenylalanine, lysine, maar nu ook leucine nauwelijks. Daarentegen waren er ook aminozuren in vrije vorm aanwezig die niet of nauwelijks in de eiwitten voorkwamen, zoals serine, glutamine en vooral methionine. De mate waarin methionine voorkwam was, net als na 15 weken bewaren, omgekeerd evenredig met het stikstofgehalte van de wortel, 22% bij stikstofarme en 4% bij stikstofrijke wortels.



Figuur 3.6.16. Aminozuur-samenstelling van A: eiwitten en B: vrije aminozuren in wortels met een variërend stikstofgehalte na 5 weken bewaren bij 0°C

Ook de vrije aminozuren werden voor het grootste deel bepaald door slechts enkele, tevens in eiwitten veel voorkomende aminozuren, namelijk asparaginezuur, glutaminezuur, arginine en proline (Fig. 3.6.9.B). Arginine en proline waren in de vrije aminozuren het meest voorkomend en vormden daarin zelfs een 2x zo groot aandeel als in eiwitten, en bepaalden hoofdzakelijk het verschil in de hoeveelheid vrije aminozuren tussen stikstofrijke en -arme wortels (Tabel 3.6.2.B). Het aandeel dat asparaginezuur, glutaminezuur en methionine in de vrije aminozuren vormden, was zelfs negatief gecorreleerd aan het stikstofgehalte van de wortel.

De totale hoeveelheid vrije aminozuren in de wortels bestond voor circa 85% uit de voor- genoemde 7 aminozuren: asparaginezuur, glutaminezuur, arginine, proline, serine, glutami- ne en methionine.

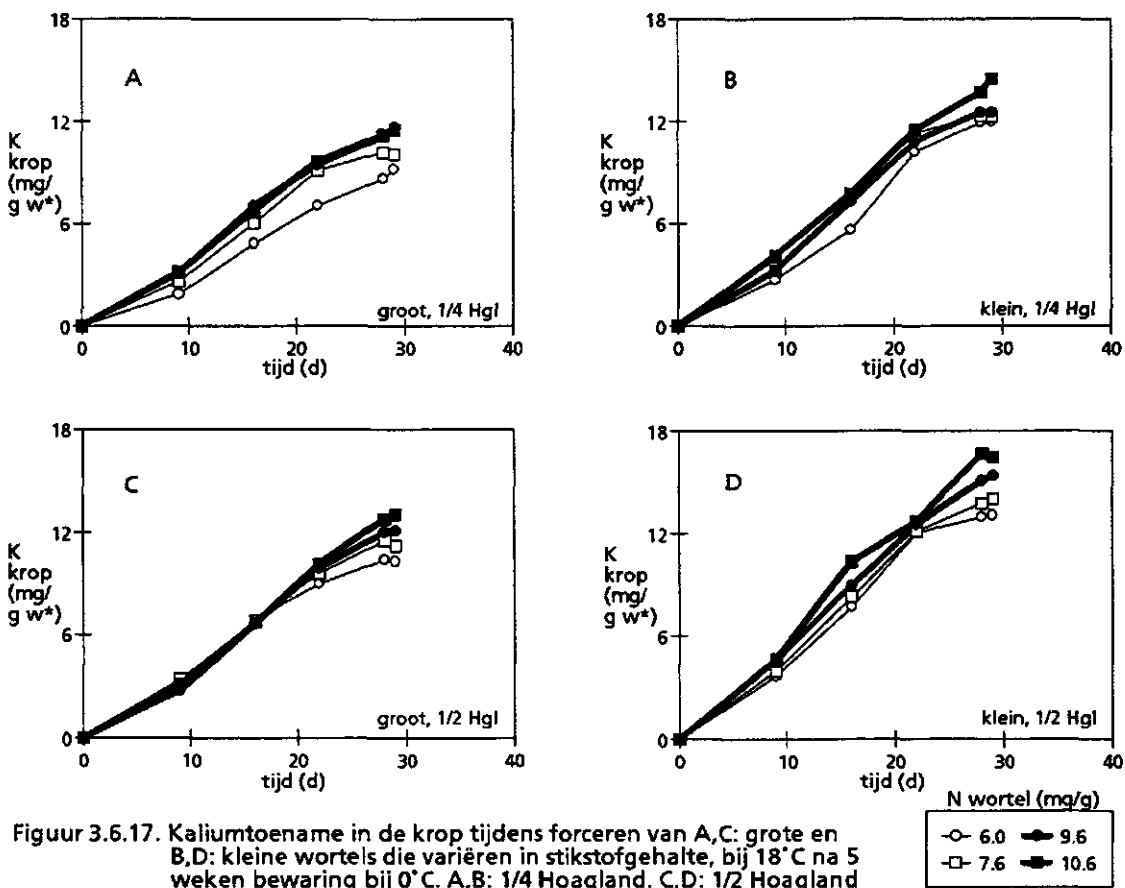
Tabel 3.6.2. Gehalte (in %) van enkele belangrijke aminozuren in A: eiwitten en vrije aminozuren van wortels met een variërend stikstofgehalte (mg/g ds), na 5 weken bewaren bij 0°C

A	eiwit-aminozuren		subtot	asp,glu	arg,pro	asn,gly,leu	
6.0	95.5		100	61.6	26.5	14.8	20.3
7.6	94.4		100	63.5	26.7	18.4	18.4
9.6	94.3		100	68.9	29.0	24.9	15.0
10.6	94.1		100	70.4	30.8	25.2	14.4
B	vrije aminozuren		subtot	asp,glu	arg,pro	ser,gln	met
6.0	4.5		100	84.9	35.8	25.7	1.9 21.6
7.6	5.6		100	84.2	22.2	44.3	5.7 12.0
9.6	5.7		100	83.7	16.5	48.4	13.4 5.5
10.6	5.9		100	86.3	14.6	52.6	15.5 3.7

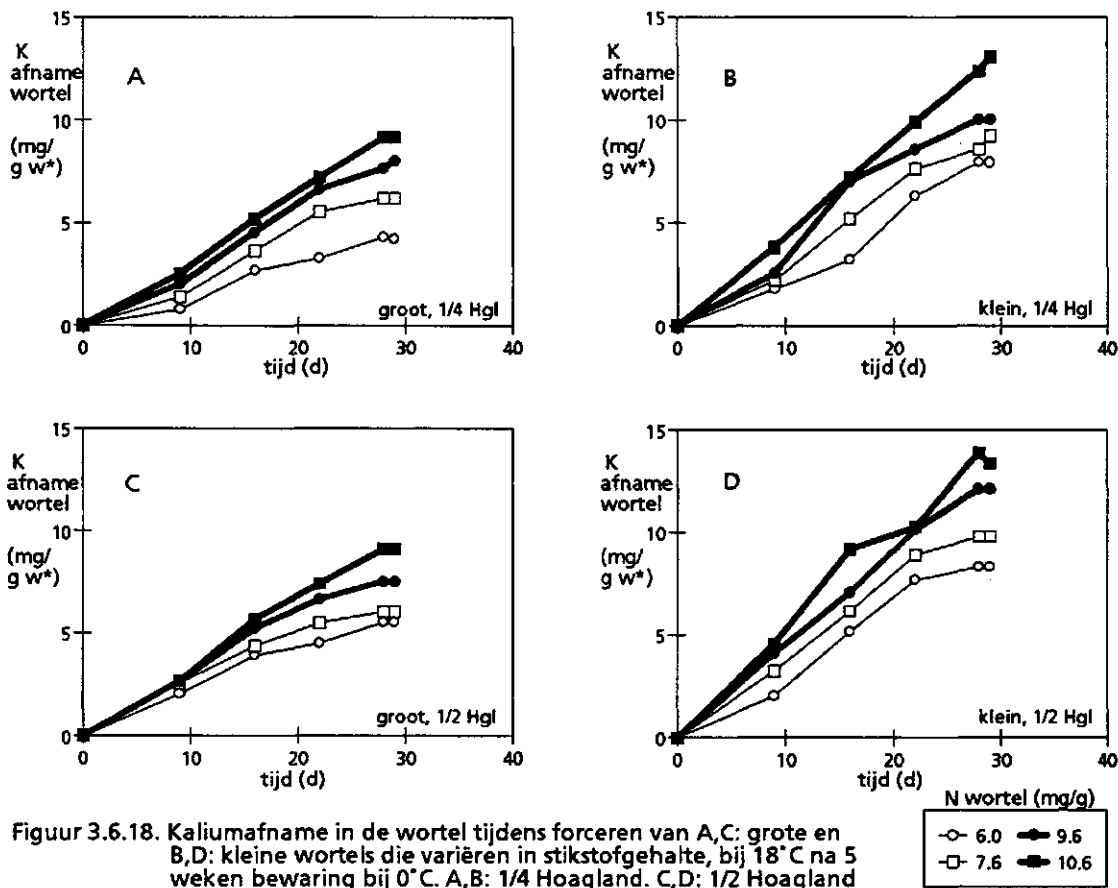
3.6.4. Kaliumredistributie

Het kaliumgehalte van de wortels varieerde slechts weinig, nl.  $24 \pm 1$  mg K/g drogestof. Er was bovendien geen verband tussen deze geringe variatie en het stikstofgehalte van de wortels. Evenals de stikstoftoename verliep de kaliumtoename van de krop tijdens forceren parallel aan de drogestoftoename. Er was bij de kaliumtoename van de krop echter nauwelijks een verschil waar te nemen tussen stikstofrijke en -arme wortels, zowel bij grote als kleine wortels (Fig. 3.6.17). Aangezien de verse kropproductie en de drogestoftoename van de kroppen ook nauwelijks verschilden tussen stikstofrijke en -arme wortels, heeft het stikstofgehalte van de wortel weinig effect op het kaliumgehalte van de krop, op droge- noch op versesstofbasis.

De kaliumtoename van de krop was daarentegen wel groter bij kleine dan bij grote wortels ongeacht het stikstofgehalte, nl. 1,26x. Dit is geringer dan het verschil in drogestoftoename, maar vrijwel gelijk aan het verschil in stikstoftoename en aan het verschil in verse kropproductie. Het verschil in kaliumtoename in de krop tussen kleine en grote wortels was nauwelijks afhankelijk van de voedingsoplossing, namelijk 1,29 en 1,22x zo groot bij kleine wortels op resp. 1/4 en 1/2 Hoagland.

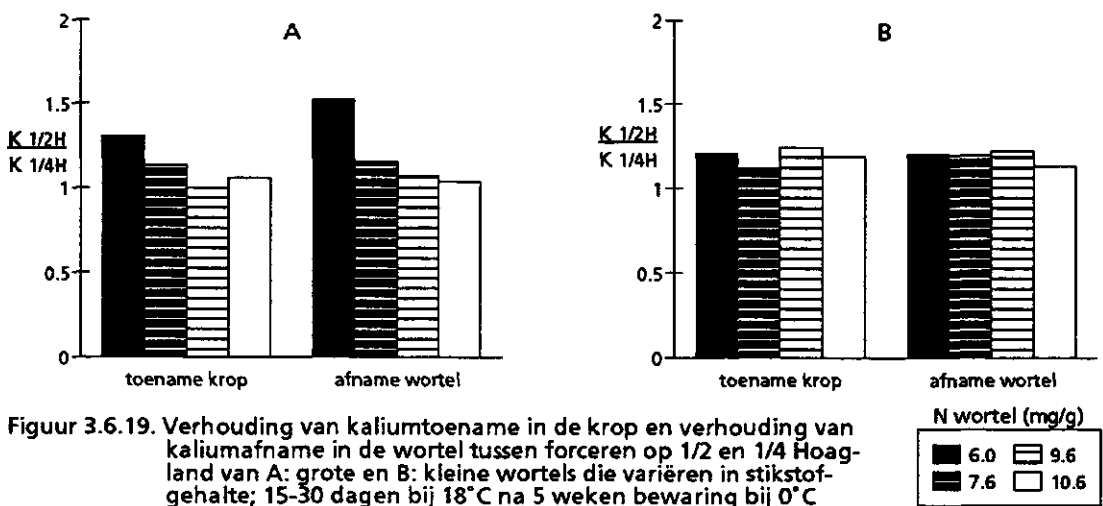


De kaliumafname in de wortel was wel afhankelijk van het stikstofgehalte, in tegenstelling tot de totale kaliumtoename in de krop (Fig. 3.6.18). Dit laatste is te wijten aan een verschil in kaliumopname uit de voedingsoplossing.



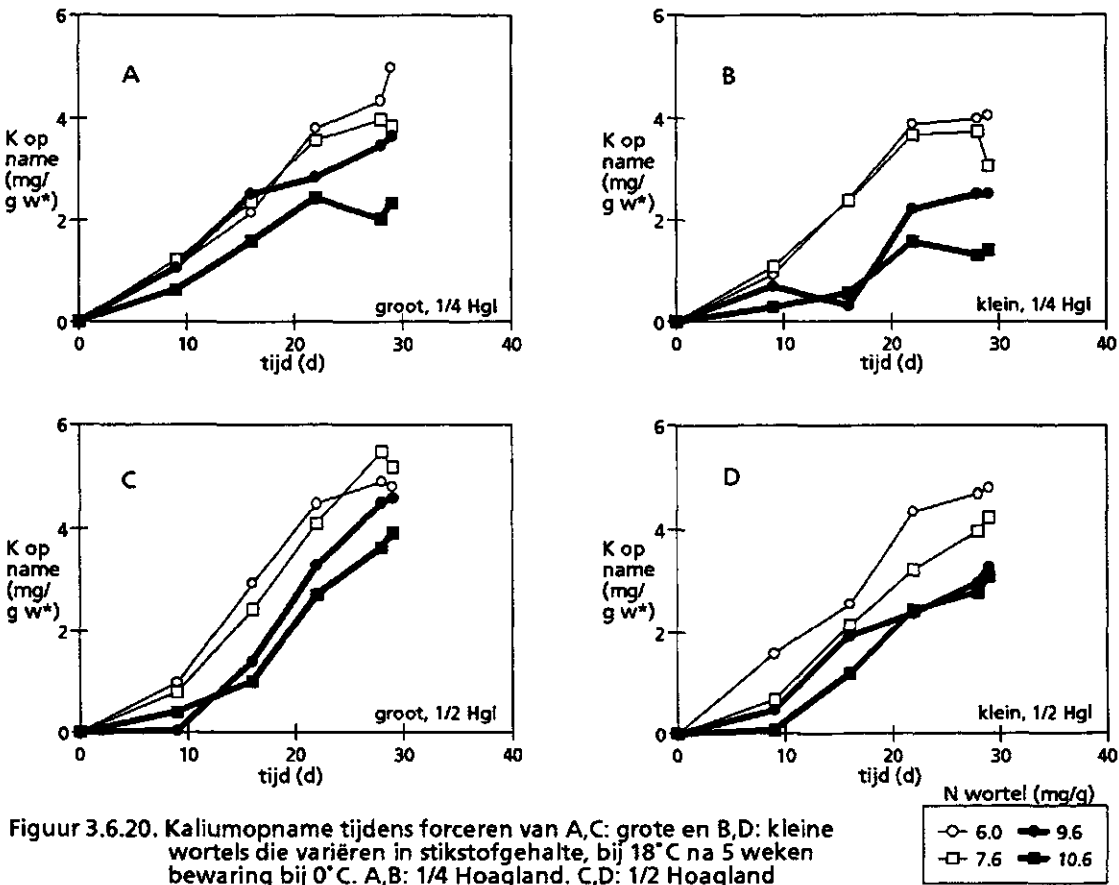
Figuur 3.6.18. Kaliumafname in de wortel tijdens forceren van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C. A,B: 1/4 Hoagland. C,D: 1/2 Hoagland

Het verschil in kaliumafname tussen stikstofrijke en -arme wortels was veel geringer dan het verschil in stikstofafname, maar ongeveer vergelijkbaar met het verschil in drogestofafname (zie Fig. 3.6.5). In sterkere mate dan de kaliumtoename in de krop was de kaliumafname groter in kleine dan in grote wortels ongeacht het stikstofgehalte, nl. 1,48x zowel op 1/4 als op 1/2 Hoagland voedingsoplossing.



Figuur 3.6.19. Verhouding van kaliumtoename in de krop en verhouding van kaliumafname in de wortel tussen forceren op 1/2 en 1/4 Hoagland van A: grote en B: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte; 15-30 dagen bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C

Zowel de kaliumtoename in de krop als de kaliumafname in de wortel was bij kleine wortels groter op 1/2 dan op 1/4 Hoagland, waarbij geen verschil kon worden waargenomen tussen stikstofrijke en -arme wortels (Fig. 3.6.19.B). Bij grote stikstofrijke wortels was de kaliumtoename in de krop hetzelfde op 1/2 en op 1/4 Hoagland, evenals de kaliumafname in de wortel. Een sterker geconcentreerde voedingsoplossing had daarentegen wel een positief effect op de kaliumredistributie wanneer het grote stikstofarme wortels betrof (Fig. 3.6.19.A). Dit verschijnsel bij grote wortels is hetzelfde als werd waargenomen bij de drogestofredistributie (zie Fig. 3.6.6). Bij kleine wortels had een sterker geconcentreerde voedingsoplossing geen effect op de drogestoftoename maar wel op de kaliumtoename van de krop, in beide gevallen onafhankelijk van het stikstofgehalte van de wortel. De drogestofafname werd echter alleen door de concentratie van de voedingsoplossing beïnvloed bij kleine stikstofarme wortels, terwijl de kaliumafname bij alle kleine wortels in dezelfde mate werd beïnvloed. Meer dan bij stikstof het geval was compenseerde de kaliumopname uit de voedingsoplossing voor het grootste gedeelte het tekort aan kalium dat uit de wortel kon worden geredistribueerd. De opname van kalium was groter bij stikstofarme dan bij stikstofrijke wortels, echter niet in die mate als bij stikstofopname het geval was (Fig. 3.6.20).



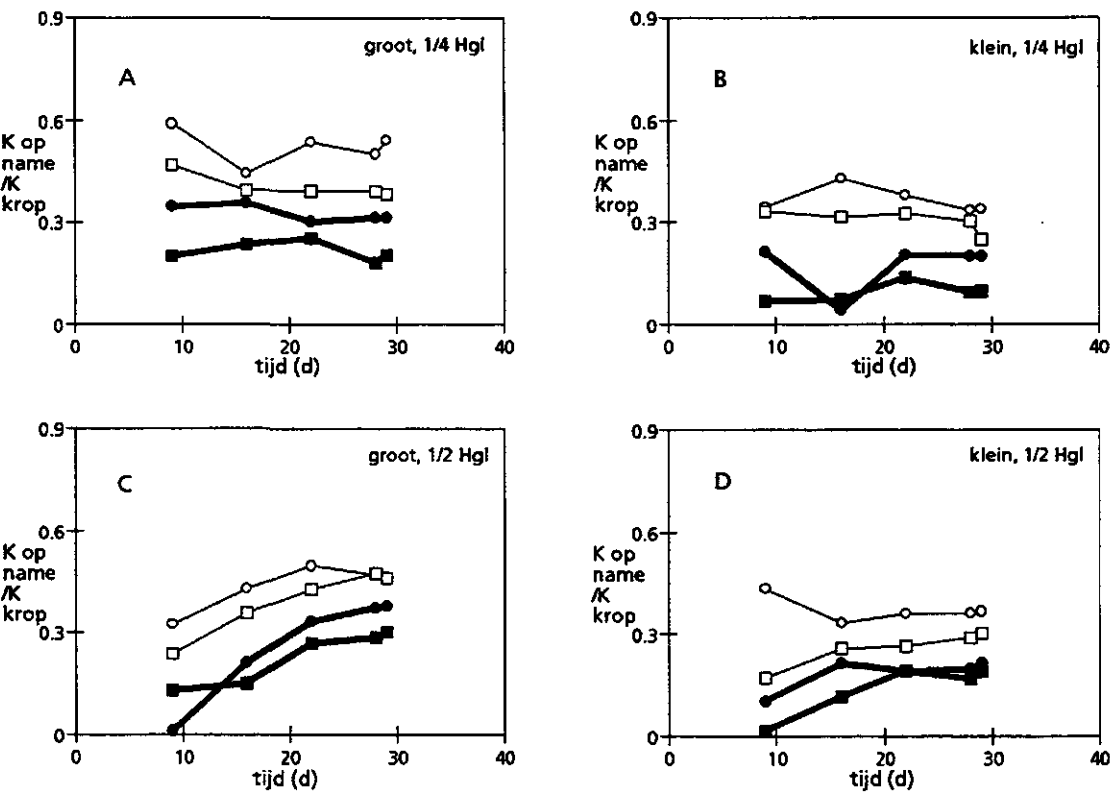
Figuur 3.6.20. Kaliumopname tijdens forceren van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C. A,B: 1/4 Hoagland. C,D: 1/2 Hoagland

De verschillen in kaliumafname van de wortel tussen stikstofrijke en -arme wortels waren echter ook niet zo groot als de verschillen in stikstofafname, zodat er een geringere compensatie door opname nodig was om dezelfde hoeveelheid kalium naar de krop te transporteren. De kaliumafname van kleine wortels was groter dan van grote wortels, maar er werd minder kalium uit de voedingsoplossing opgenomen (Fig. 3.6.20), zodat de verschillen in



kaliumtoename van de krop tussen kleine en grote wortels minder groot waren dan de verschillen in kaliumafname van de wortel. Dit in tegenstelling tot de stikstofopname, die ook groter was bij kleine dan bij grote wortels, terwijl de afname uit de wortel ook groter was, zodat de verschillen in stikstoftoename van de krop juist nog groter werden tussen kleine en grote wortels.

De geringere kaliumopname betrof met name de kleine stikstofrijke wortels, nl. bijna 0,5x die van grote stikstofrijke wortels. Bij kleine stikstofarme wortels was de kaliumopname nog 0,9x die van grote stikstofarme wortels.



Figuur 3.6.21. Aandeel van de opname in het kaliumtransport naar de krop tijdens forceren van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C. A,B: 1/4 Hoagland. C,D: 1/2 Hoagland

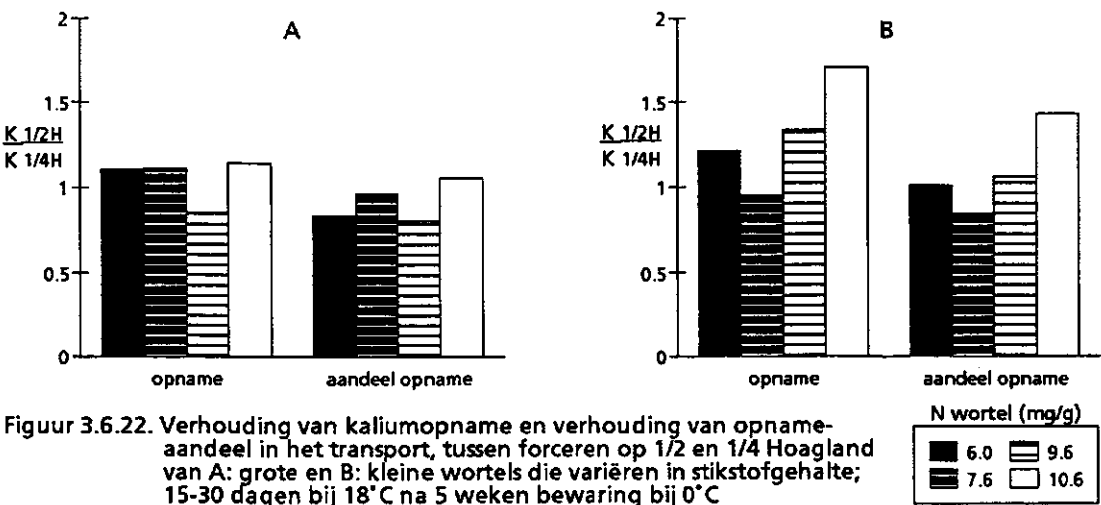
N wortel (mg/g)			
○ 6.0	● 9.6	□ 7.6	■ 10.6

Afgezien van een aantal afwijkende meetwaarden, was het aandeel van de kaliumopname in de totale kaliumtoename van de krop redelijk constant tijdens forceren. Evenals de kaliumopname 'an sich', was het aandeel van de opname in het kaliumtransport naar de krop veel groter bij stikstofarme dan bij stikstofrijke wortels (Fig. 3.6.21). Aangezien de kaliumopname geringer was bij kleine wortels en bovendien de kaliumtoename in de krop groter, was het aandeel van kaliumopname ook geringer bij kleine dan bij grote wortels, nl. 0,7x voor stikstofarme en 0,4x voor stikstofrijke wortels tijdens forceren bij 1/4 Hoagland. Op 1/2 Hoagland was dit 0,8 en 0,6 voor resp. stikstofarme en -rijke wortels. De invloed van de voedingsoplossing op de kaliumopname was ook niet hetzelfde voor grote en kleine wortels. Dit blijkt duidelijk uit de verhoudingen van kaliumopname tussen forceren op 1/2 en 1/4 Hoagland.

Voor kleine wortels is het verschil in kaliumopname tussen 1/2 en 1/4 Hoagland groter bij stikstofrijke dan bij stikstofarme wortels, terwijl er bij grote wortels vrijwel geen verschil in kaliumopname is, bij stikstofrijke noch bij stikstofarme wortels (Fig. 3.6.22). Vanwege de

relatief kleine verschillen in de kaliumtoename van de krop geldt dat ook voor het aandeel van de kaliumopname in de kaliumtoename van de krop.

De invloed van wortelmaat en concentratie van de voedingsoplossing op de redistributie en -opname van kalium bij stikstofrijke en -arme wortels wordt wat overzichtelijker wanneer gekeken wordt op één tijdstip, na 22 dagen forceren (Fig. 3.6.23).

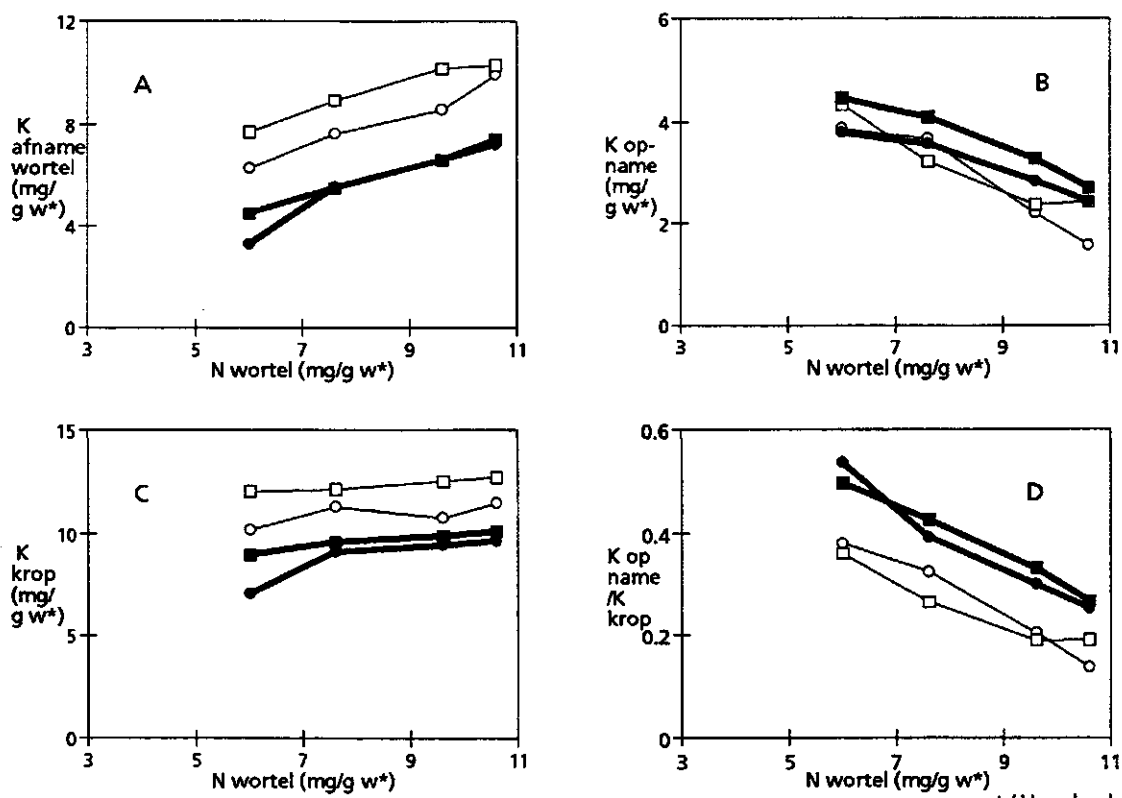


Figuur 3.6.22. Verhouding van kaliumopname en verhouding van opname-aandeel in het transport, tussen forceren op 1/2 en 1/4 Hoagland van A: grote en B: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte; 15-30 dagen bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C

De kaliumafname in de wortel nam sterk toe met het stikstofgehalte van de wortel. Dit gold voor zowel kleine als grote wortels (Fig. 3.6.23.A). De kaliumafname in grote wortels was vrijwel hetzelfde op 1/2 als op 1/4 Hoagland. In kleine wortels was de kaliumafname wat groter dan in grote wortels en forceren op 1/2 i.p.v. op 1/4 Hoagland had een positief effect op de kaliumafname bij zowel stikstofrijke als -arme kleine wortels. In tegenstelling tot de verschillen in stikstofafname waren de verschillen in kaliumafname tussen kleine en grote wortels en tussen forceren op 1/2 en 1/4 Hoagland aanzienlijk, ook in vergelijking tot de verschillen in kaliumafname tussen stikstofrijke en -arme wortels.

De kaliumopname uit de voedingsoplossing was groter bij stikstofarme dan bij -rijke wortels. Deze opname was ook afhankelijk van zowel de wortelmaat als de concentratie van de voedingsoplossing (Fig. 3.6.23.B). De kaliumopname was bij grote wortels juist groter dan bij kleine wortels. Een sterker geconcentreerde voedingsoplossing had ook een grotere kaliumopname tot gevolg, maar het effect was bij grote wortels het grootst.

De grotere kaliumopname bij stikstofarme wortels compenseerde de kleinere kaliumafname in de wortel en bovendien compenseerde de grotere kaliumopname bij grote wortels gedeeltelijk de kleinere afname in die wortels. Hierdoor was de totale kaliumtoename in de krop, als gevolg van redistributie uit de wortel gecombineerd met de opname uit de voedingsoplossing, vrijwel onafhankelijk van het stikstofgehalte van de wortel, maar wel positief gerelateerd aan de concentratie van de voedingsoplossing en nog steeds groter bij kleine wortels, zij het in mindere mate dan de kaliumafname in de wortel (Fig. 3.6.23.C). Doordat de kaliumopname een negatieve relatie met het stikstofgehalte van de wortel vertoont en de kaliumtoename juist een positieve, is het aandeel van de opname in de kaliumtoename van de krop nog sterker negatief gecorreleerd aan het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.6.23.D). De invloed van wortelmaat en van de concentratie van de voedingsoplossing op het aandeel van de opname in de kaliumtoename van de krop vertoonde dezelfde tendenzen als bij de kaliumopname zelf.



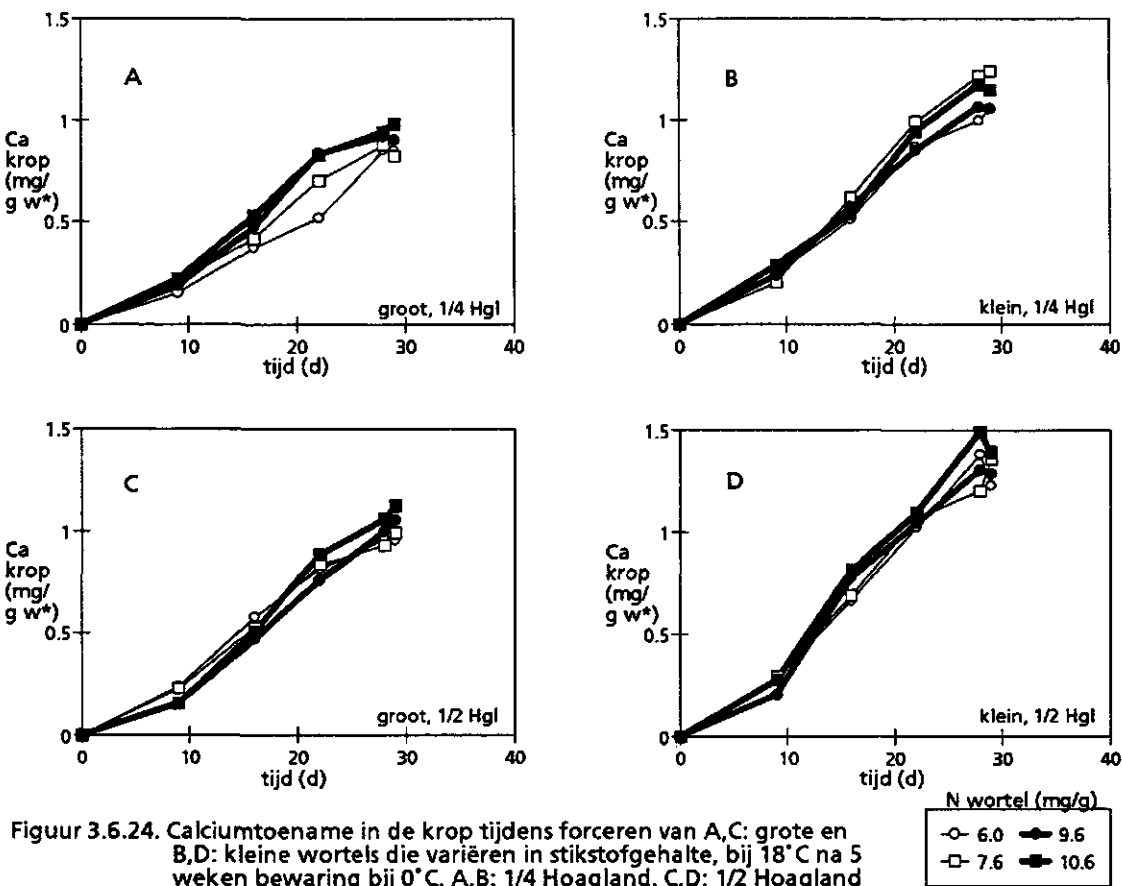
Figuur 3.6.23. A: Kaliumafname in de wortel en B: kaliumopname uit de voedingsoplossing, C: totaal kaliumtransport naar de krop en D: het aandeel van opname in het transport, in relatie tot het stikstofgehalte van grote en kleine wortels, na 22 dagen forceren op 1/4 of 1/2 Hoagland voedingsoplossing bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C

maat / Hoagland

- klein, 1/4
- klein, 1/2
- groot, 1/4
- groot, 1/2

3.6.5. Calciumredistributie

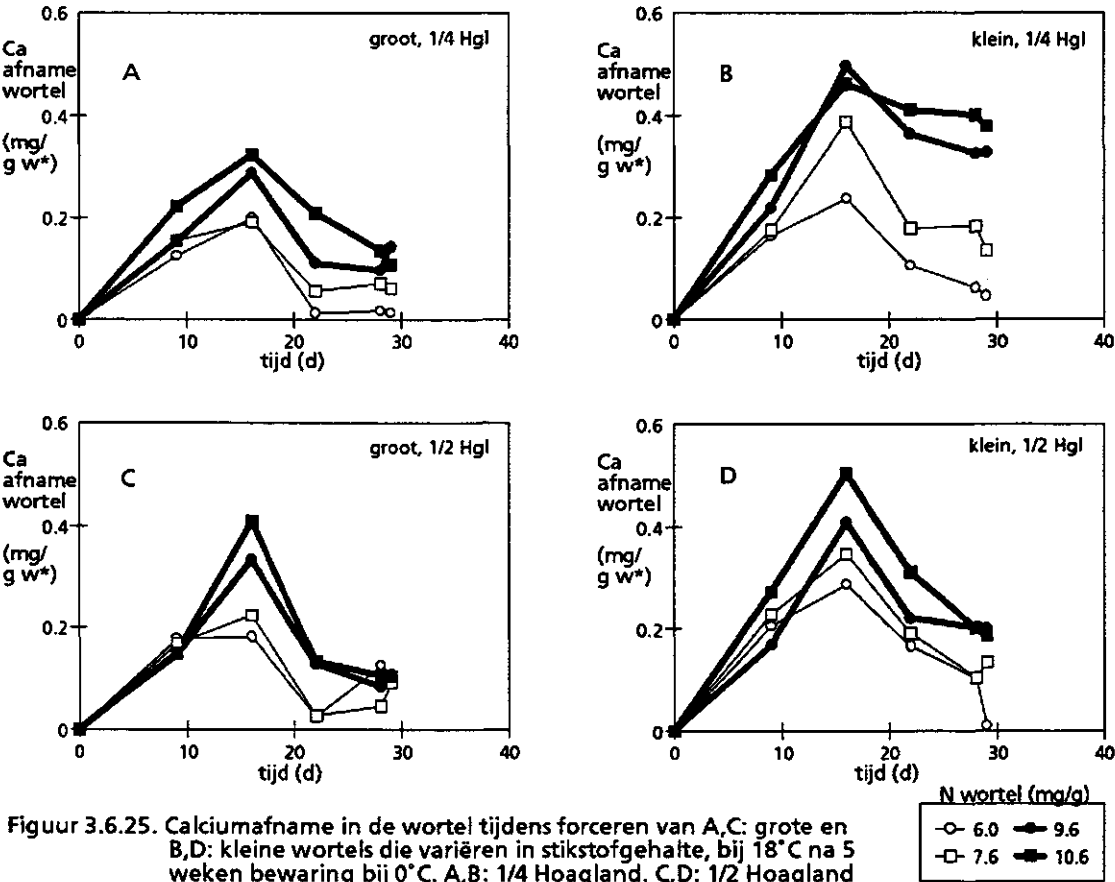
Het calciumgehalte van de wortels was een factor 10 lager dan het kaliumgehalte, maar varieerde ook weinig, nl.  $2,3 \pm 0,2$  mg Ca/g drogestof. Ook hier was er geen verband tussen de variatie in calciumgehalte en het stikstofgehalte van de wortels. Evenals de stikstof- en kaliumtoename verliep de calciumtoename van de krop tijdens forceren parallel aan de drogestoftoename. Er waren bij de calciumtoename van de krop evenmin grote verschillen waar te nemen tussen stikstofrijke en -arme wortels, zowel bij grote als kleine wortels (Fig. 3.6.24). Aangezien de verse kropproductie en de drogestoftoename van de kroppen ook nauwelijks verschilden tussen stikstofrijke en -arme wortels, heeft het stikstofgehalte van de wortel weinig effect op het calciumgehalte van de krop, op droge- noch op versestofbasis. De calciumtoename van de krop was, evenals bij de kaliumtoename groter bij kleine dan bij grote wortels ongeacht het stikstofgehalte, nl. 1,3x. Dit is wat geringer dan het verschil in drogestoftoename en wat groter dan het verschil in stikstoftoename en het verschil in verse kropproductie. Ook het verschil in calciumtoename van de krop tussen kleine en grote wortels was afhankelijk van de voedingsoplossing, namelijk 1,27 en 1,34x zo groot bij kleine wortels op resp. 1/4 en 1/2 Hoagland.



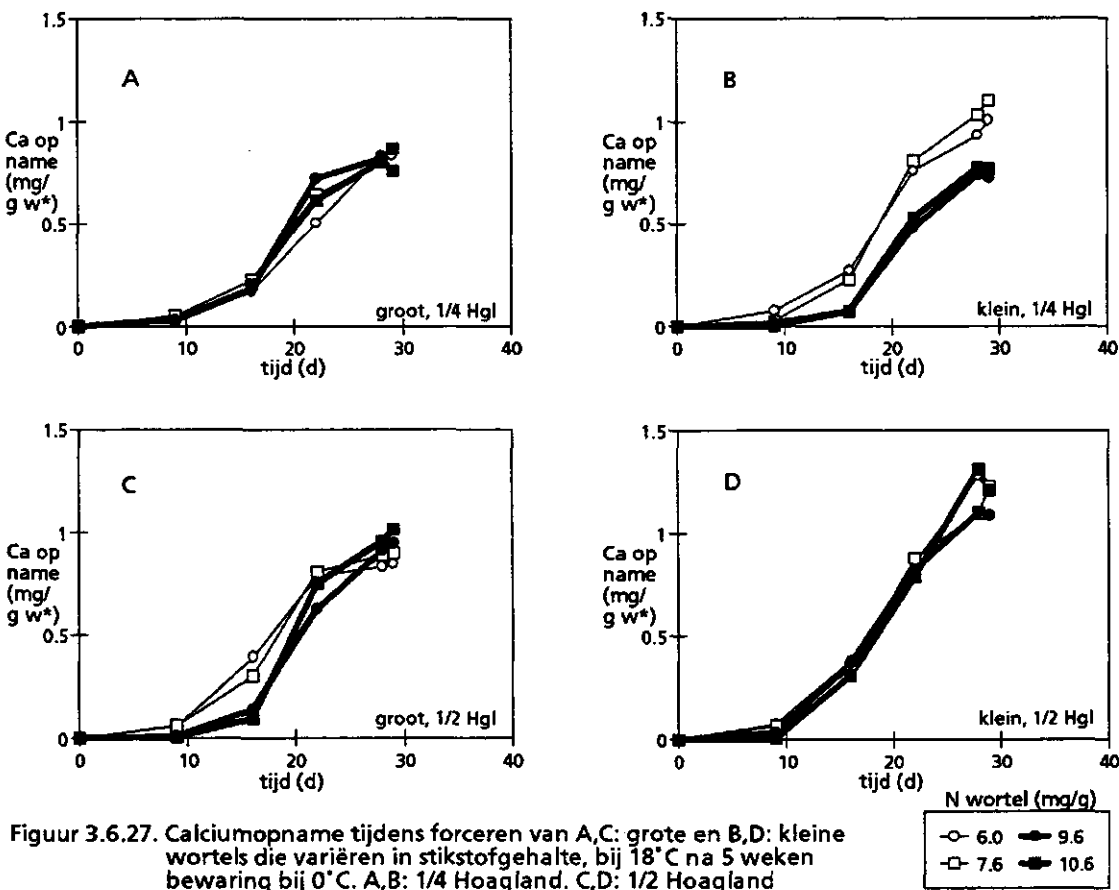
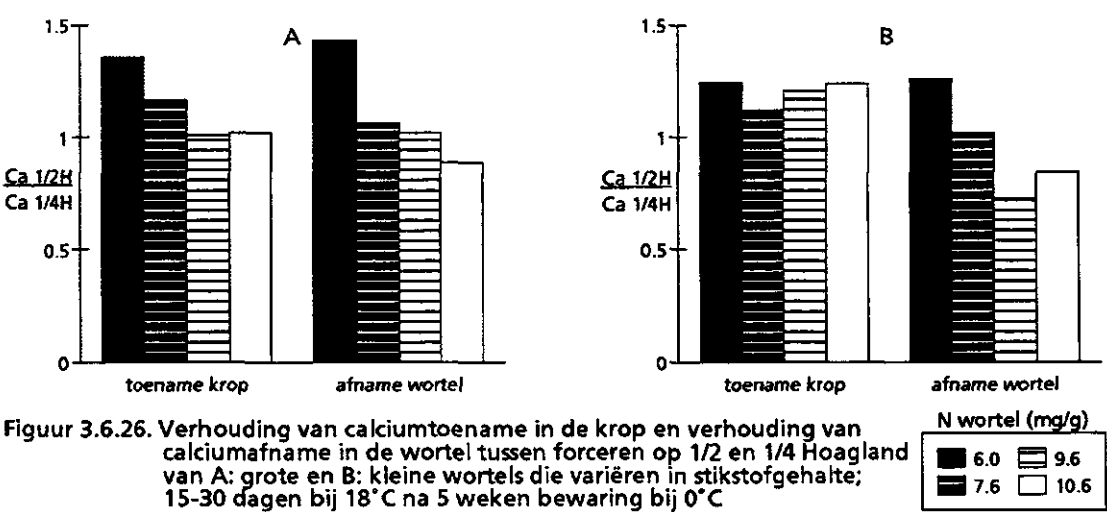
Figuur 3.6.24. Calciumtoename in de krop tijdens forceren van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 18° C na 5 weken bewaring bij 0° C. A,B: 1/4 Hoagland. C,D: 1/2 Hoagland

De calciumafname in de wortel was duidelijk verschillend van de afname van drogestof, stikstof of kalium. Gedurende de eerste 16 dagen forceren was er wel een afname van calcium in de wortel waar te nemen, die zelfs voor 80 tot 100% voor de calciumtoename in

de krop verantwoordelijk was. Daarna vond er een netto toename van calcium in de wortel plaats, zodat na 29 dagen forceren de resulterende calciumafname in de wortel nog slechts voor 5 tot 30% van de calciumtoename in de krop verantwoordelijk was. De calciumafname in de wortel was wel afhankelijk van het stikstofgehalte, in tegenstelling tot de totale calciumtoename in de krop (Fig. 3.6.25). Dit laatste is te wijten aan een verschil in calciumopname uit de voedingsoplossing.



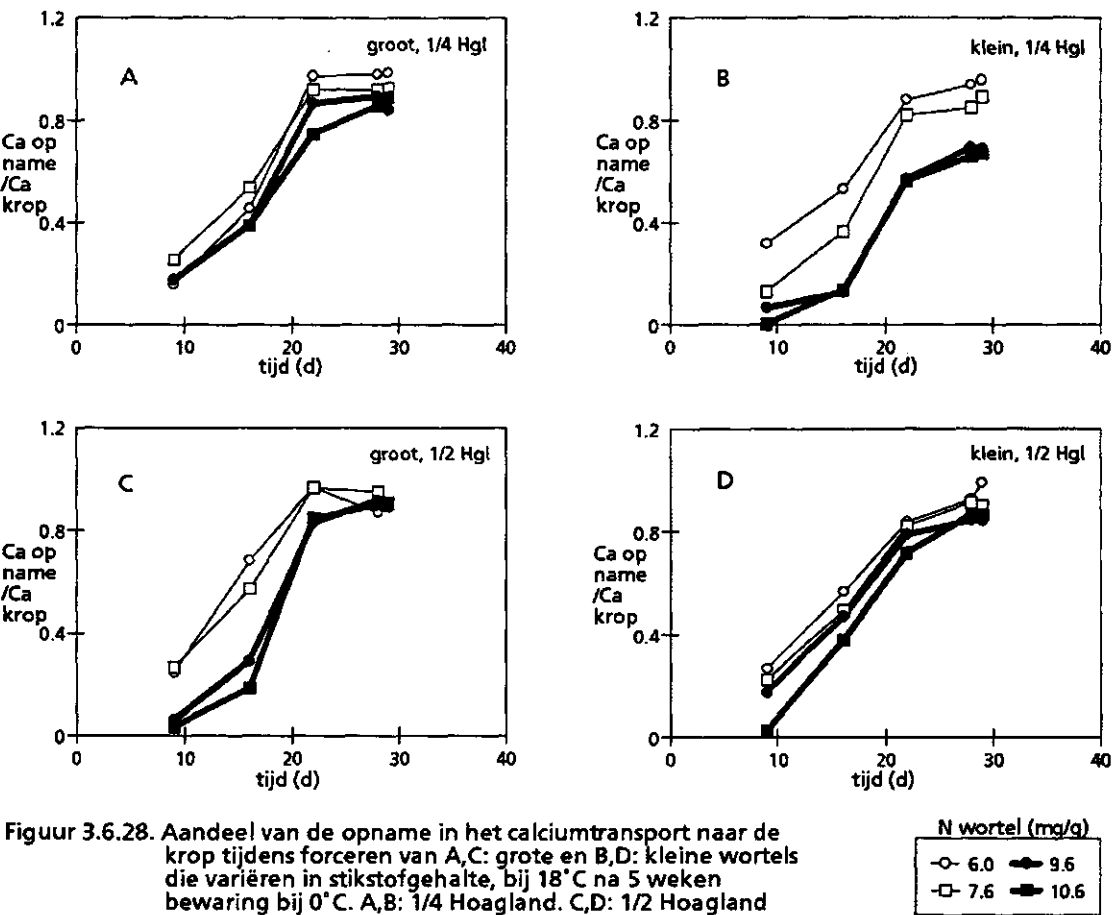
In sterkere mate dan de calciumtoename in de krop was de calciumafname, in de forceerperiode van 15 tot 30 dagen, groter in kleine dan in grote wortels ongeacht het stikstofgehalte, nl. 1,71 en 1,48x op resp. 1/4 en 1/2 Hoagland voedingsoplossing. Zowel de calciumtoename in de krop als de calciumafname in de wortel was bij grote wortels groter op 1/2 dan op 1/4 Hoagland, maar hoofdzakelijk bij stikstofarme wortels (Fig. 3.6.26.A). Dit verschijnsel bij grote wortels is hetzelfde als werd waargenomen bij de drogestofredistributie (zie Fig. 3.6.6.A). Bij kleine wortels was de calciumtoename in de krop groter op 1/2 dan op 1/4 Hoagland, maar in dezelfde mate bij stikstofrijke als bij stikstofarme wortels (Fig. 3.6.26.B). Bij kleine wortels had een sterkere geconcentreerde voedingsoplossing dus wel effect op de calciumtoename van de krop maar geen effect op de drogestoftoename (zie Fig. 3.6.6.B), in beide gevallen onafhankelijk van het stikstofgehalte van de wortel. De calciumafname in de wortel was echter alleen groter bij kleine stikstofarme wortels en zelfs kleiner bij kleine stikstofrijke wortels op een 1/2 i.p.v. op 1/4 Hoagland. De drogestofafname werd echter alleen bij kleine stikstofarme wortels door de concentratie van de voedingsoplossing beïnvloed.



Zoals reeds eerder vermeld, was de calciumopname gedurende de eerste 16 dagen forceren zeer gering, maar nam vervolgens sterk toe zodat na 29 dagen forceren vrijwel eenzelfde hoeveelheid calcium uit de voedingsoplossing was opgenomen als naar de krop was getransporteerd (Fig. 3.6.27). Het is waarschijnlijk dat de calcium die naar de krop werd getransporteerd niet allemaal direct uit de voedingsoplossing werd betrokken. In de eerste fase van forceren werd namelijk vrijwel alle calcium uit de wortel betrokken. In de latere forceerfase

werd een deel van de calciumverliezen in de wortel echter weer aangevuld vanuit de voedingsoplossing.

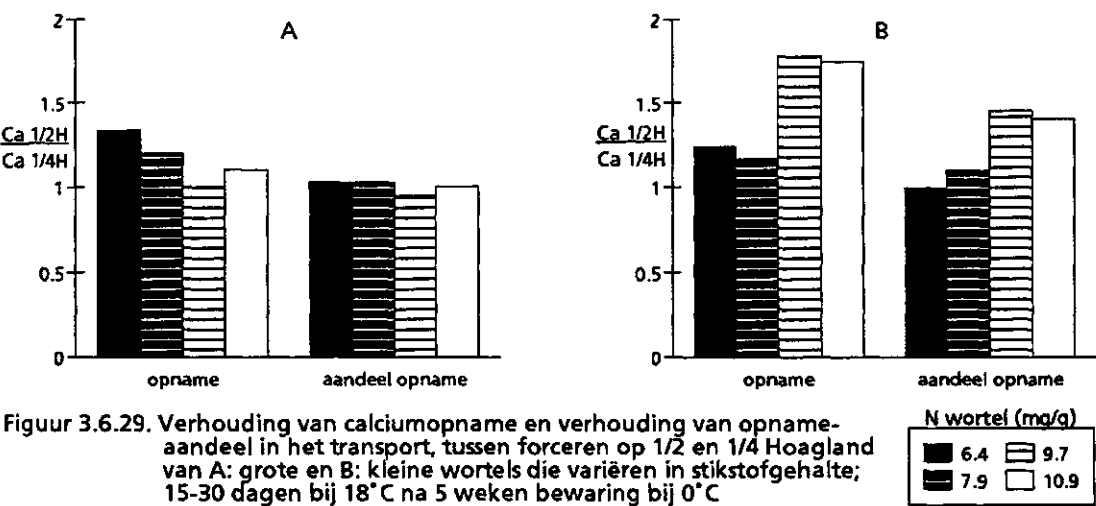
De verschillen in calciumopname tussen stikstofrijke en -arme wortels waren gering, behalve bij kleine wortels op 1/4 Hoagland (Fig. 3.6.27.B). Ook de verschillen in calciumtoename van de krop tussen stikstofrijke en -arme wortels waren minimaal, terwijl er wel duidelijke verschillen in calciumafname van de wortels waar te nemen waren. Het is daardoor moeilijk om bij de calciumredistributie van compensatie van worteltekorten door opname uit de voedingsoplossing te spreken, aangezien de hoeveelheden die als resultante uit de wortel redistribueren zo gering zijn dat de verschillen daarin tussen stikstofrijke en -arme wortels in de calciumopname niet terug te vinden zouden zijn.



Doordat de herkomst van de calcium in de krop tijdens forceren verschoof van wortel naar voedingsoplossing nam het aandeel van de opname in het totale calciumtransport naar de krop gedurende forceren sterk toe, in tegenstelling tot het redelijk constante aandeel van de opname in het stikstof- en kaliumtransport naar de krop (Fig. 3.6.28).

In het algemeen was het aandeel van de opname in het calciumtransport wel wat groter bij stikstofarme dan bij stikstofrijke wortels.

De calciumopname was groter bij kleine dan bij grote stikstofarme wortels, nl. 1,3x, maar juist kleiner bij kleine dan bij grote stikstofrijke wortels: 0,8x. Wanneer echter werd geforceerd bij 1/2 i.p.v. bij 1/4 Hoagland was de calciumopname bij alle kleine wortels 1,3x groter dan bij de grote wortels.



Het effect van de concentratie van de voedingsoplossing op de calciumopname door de verschillende wortels is goed te zien in Fig. 3.6.29. De calciumopname was bij alle wortels groter op 1/2 dan op 1/4 Hoagland. Bij grote wortels was dat 1,25x groter als het stikstofarme, en 1,1x als het stikstofrijke wortels betrof. Bij kleine wortels was de calciumopname ook 1,25x groter als het stikstofarme wortels betrof, maar 1,75x groter als het stikstofrijke wortels betrof.

Het aandeel van de opname in het transport naar de krop bleef bij alle wortels gelijk, wanneer de voedingsoplossing sterker geconcentreerd was (daar het transport vrijwel hetzelfde is als de opname), behalve bij stikstofrijke kleine wortels.

Aangezien er tijdens forceren een verschuiving plaats vindt van redistributie naar opname van calcium is het niet zinvol om de invloed van wortelmaat en concentratie van de voedingsoplossing op de redistributie en -opname van calcium bij stikstofrijke en -arme wortels op één tijdstip, na 22 dagen forceren, te bekijken.



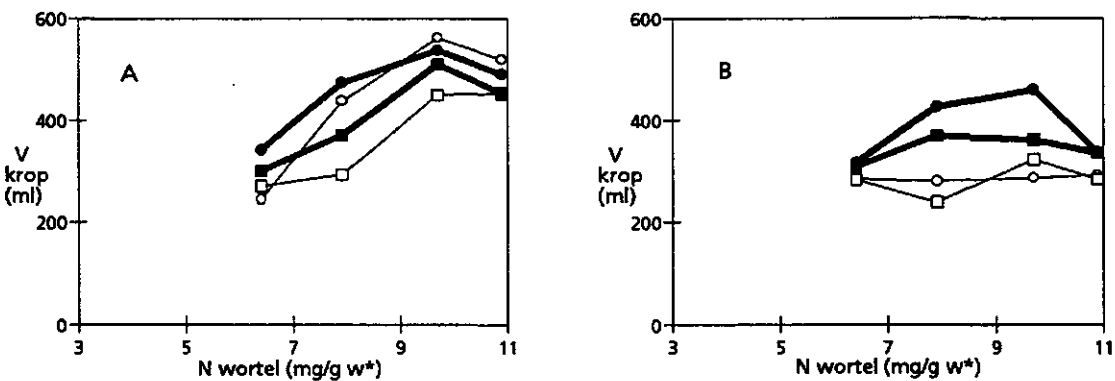
3.6.6. Kropvorm en andere visuele kwaliteitsaspecten

Behalve naar de redistributie van drogestof en de vorming van de (verse) krop is in deze experimenten ook gekeken naar enkele uit- en inwendige kropkenmerken die een rol spelen bij de bepaling van de kwaliteit van de krop. De bepalingen zijn niet op alle oogsttijdstippen uitgevoerd, zodat niet een volledig beeld van de veranderingen in kropvorm tijdens forceren gegeven kan worden.

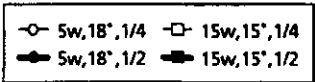
In deze paragraaf worden de resultaten van een van de drie meettijdstippen weergegeven, nl. na 22 dagen forceren, in relatie tot het stikstofgehalte van zowel grote als kleine wortels.

Kropvorm

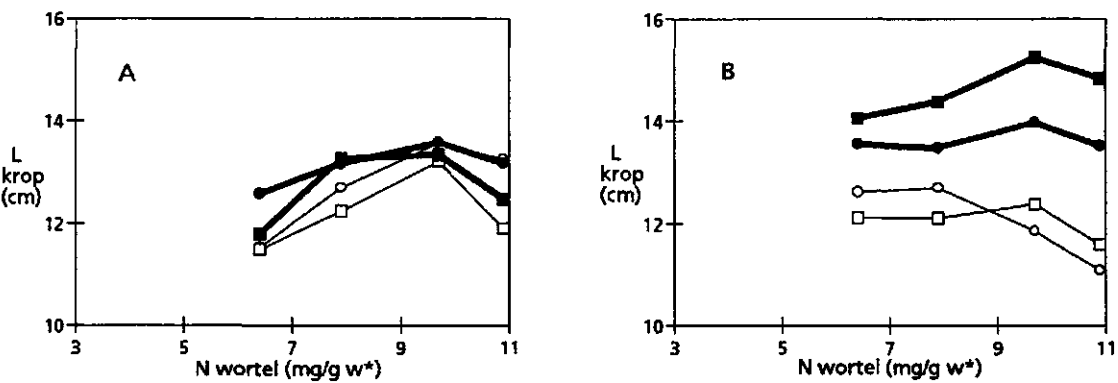
Per hoeveelheid worteldrogestof leverden kleine wortels een grotere krop op dan grote wortels (zie 3.6), maar absoluut gezien was de krop van een kleine wortel toch altijd nog kleiner dan van een grote wortel. Dat gold niet alleen voor het versgewicht van de krop, maar ook voor het volume (Fig. 3.6.30). Evenzo nam het versgewicht van de krop toe met het stikstofgehalte van de wortel, behalve bij de zeer hoge stikstofgehalten. Dit is volledig in overeenstemming met de verschillen in kropvolume, althans bij grote wortels (Fig. 3.6.30.A). Bij kleine wortels was wel het versgewicht van de krop groter bij een hoger stikstofgehalte van de wortel, terwijl er geen duidelijke verschillen in kropvolume konden worden waargenomen (Fig. 3.6.30.B). Dit zou betekenen dat stikstofarme kleine wortels een lossere krop opleveren dan stikstofrijke wortels.



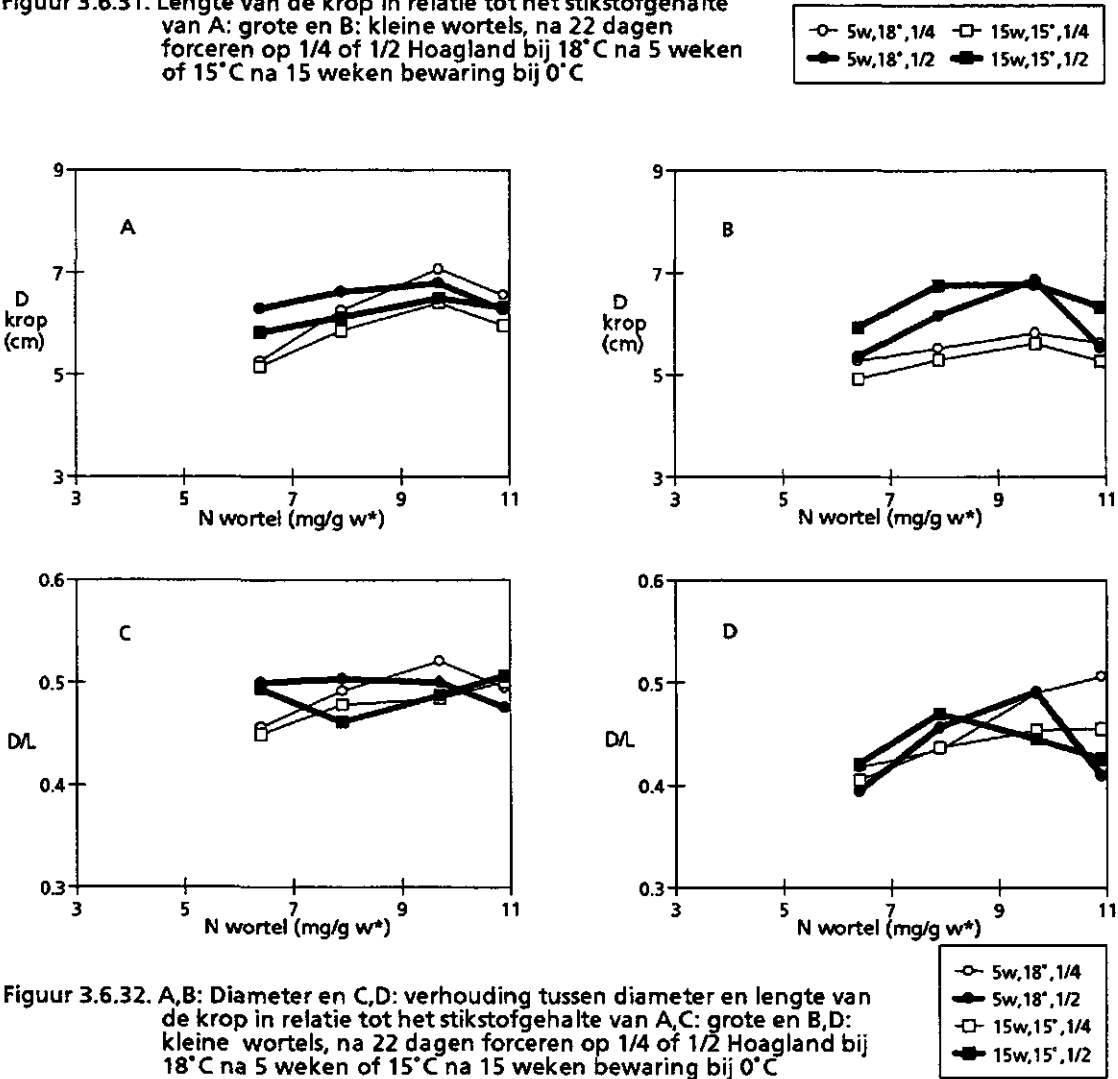
Figuur 3.6.30. Volume van de krop in relatie tot het stikstofgehalte van A: grote en B: kleine wortels, na 22 dagen forceren op 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 5 weken of 15°C na 15 weken bewaring bij 0°C



De invloed van een sterker geconcentreerde voedingsoplossing op het kropvolume was vergelijkbaar met de invloed op het versgewicht. Bij grote wortels nam het kropvolume alleen een beetje toe bij wortels met de laagste stikstofgehalten. Bij kleine wortels nam het kropvolume in alle kroppen toe, hoewel slechts in geringe mate bij zowel de stikstofrijkste als de -armste wortels. De verschillen in volume zeggen nog niets over de vorm van de krop. Een groter volume kan veroorzaakt worden door zowel een grotere lengte als een grotere diameter van de krop en bovendien door een verder openstaande top.



Figuur 3.6.31. Lengte van de krop in relatie tot het stikstofgehalte van A: grote en B: kleine wortels, na 22 dagen forceren op 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 5 weken of 15°C na 15 weken bewaring bij 0°C



Figuur 3.6.32. A,B: Diameter en C,D: verhouding tussen diameter en lengte van de krop in relatie tot het stikstofgehalte van A,C: grote en B,D: kleine wortels, na 22 dagen forceren op 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 5 weken of 15°C na 15 weken bewaring bij 0°C

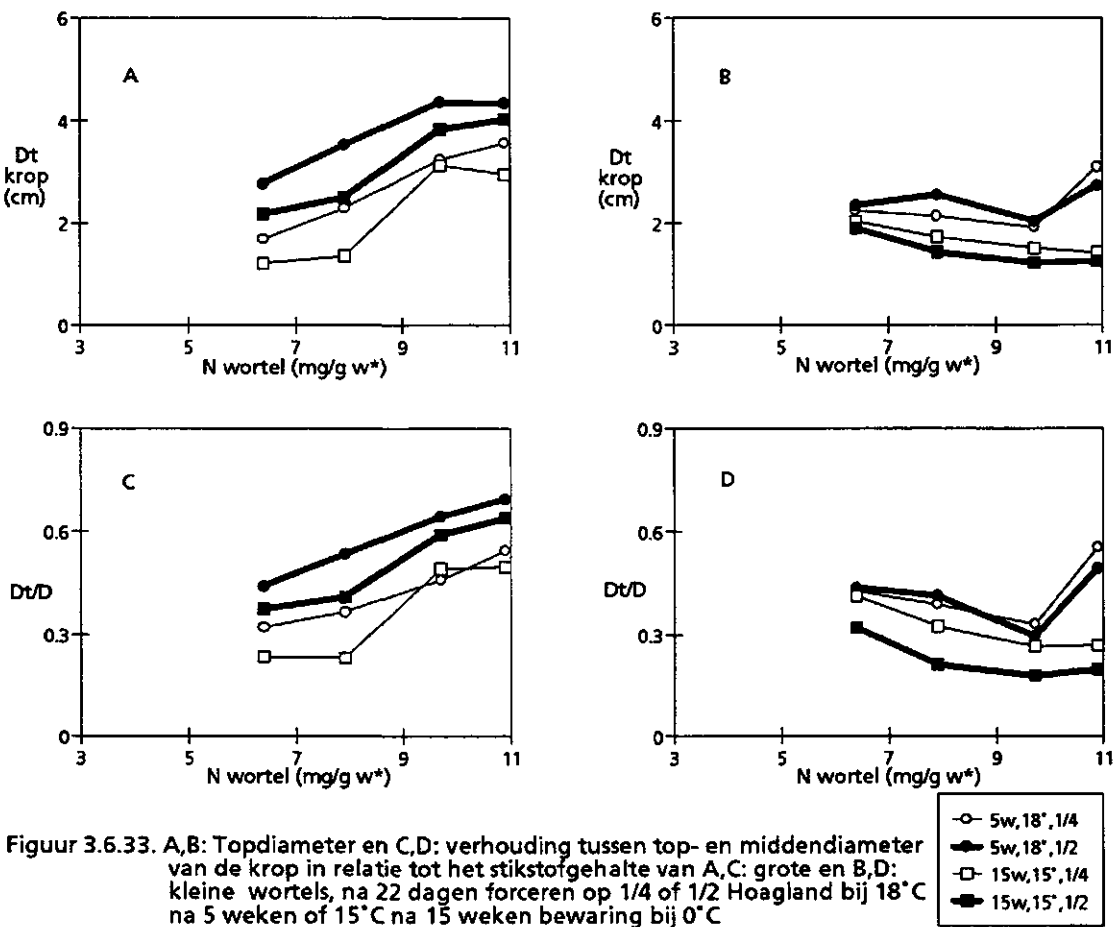
De kroplengte bij grote wortels nam toe met het stikstofgehalte van de wortel, maar niet in dezelfde mate als het volume.

Bovendien waren de kropen bij de grote wortels met het hoogste stikstofgehalte weer korter; bijna even kort als de kropen van de stikstofarme wortels (Fig. 3.6.31.A). Evenals bij het kropvolume werd een langere krop als gevolg van forceren op een sterker geconcentreerde voedingsoplossing alleen en in geringe mate waargenomen bij de stikstofarmere grote wortels. Ten opzichte van de verschillen in kroplengte tussen stikstofrijke en -arme

wortels was de invloed van de voedingsoplossing op de kroplengte bij kleine wortels veel groter. Een sterker geconcentreerde voedingsoplossing veroorzaakte duidelijk langere kropen, vooral bij stikstofrijke wortels. Het effect van de voedingsoplossing was bovendien sterker naarmate de kleine wortels langer waren bewaard (Fig. 3.6.31.B). Bij grote wortels had de bewaarduur nauwelijks effect op de kroplengte.

De diameter van de krop vertoonde min of meer dezelfde tendenzen als de kroplengte, waarbij het effect van een geconcentreerde voedingsoplossing, nl. een grotere diameter bij alleen de stikstofarme grote wortels, veel sterker was (Fig. 3.6.32.A). Het gevolg van de verder vergelijkbare tendenzen in kroplengte en -diameter was dat het stikstofgehalte van de wortel, de concentratie van de voedingsoplossing, noch de bewaarduur een duidelijk effect had op de diameter/lengte-verhouding van de krop (Fig. 3.6.32.C-D).

In tegenstelling tot de geringe verschillen in kropdiameter bij grote wortels was de diameter van de top van de krop duidelijk groter bij een hoger stikstofgehalte van grote wortels, d.w.z. de kroppen waren minder gesloten (Fig. 3.6.33.A).



De topdiameter was bovendien bij alle grote wortels kleiner wanneer geforceerd werd op een sterker geconcentreerde voedingsoplossing. Ook was de topdiameter geringer na langere bewaring van de grote wortels. Vanwege de geringe verschillen in middendiameter van de krop golden de voorgenoemde effecten op de topdiameter niet alleen in absolute maar ook in relatieve zin, d.w.z. ten opzichte van de middendiameter (Fig. 3.6.33.C). Bij kleine wortels was er geen duidelijk effect van het stikstofgehalte van de wortel op de topdiameter van de

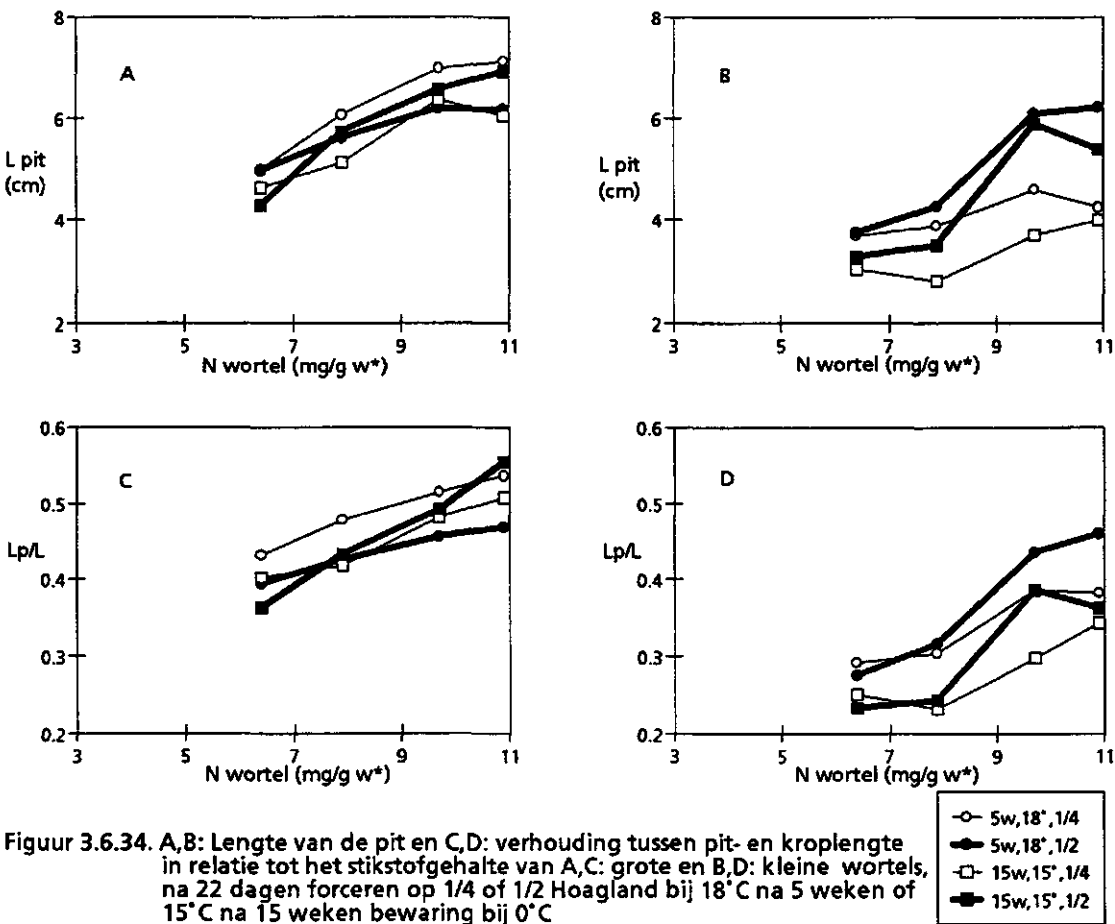
krop waarneembaar. Evenmin had de concentratie van de voedingsoplossing hierop effect. Alleen een langere bewaring van de wortel had een geringere topdiameter tot gevolg (Fig. 3.6.33.B.). In het algemeen was de topdiameter bij grote wortels groter dan bij kleine wortels, zowel absoluut als relatief ten opzichte van de middendiameter. Dit was vooral het geval bij stikstofrijke wortels.

Pitlengte

Niet alleen de uiterlijke vorm van de krop verschilde tussen stikstofarme, -rijke, grote en kleine wortels. Ook inwendig waren er een aantal verschillen. De pitlengte was altijd groter in kroppen van grote dan van kleine wortels (Fig. 3.6.34.A-B). Ook relatief ten opzichte van de kroplengte was dat het geval (Fig. 3.6.34.C-D). Zowel bij kleine als in sterkere mate bij grote wortels nam de lengte van de pit toe met het stikstofgehalte van de wortel.

Bij kleine wortels was dit effect echter afhankelijk van de concentratie van de voedingsoplossing.

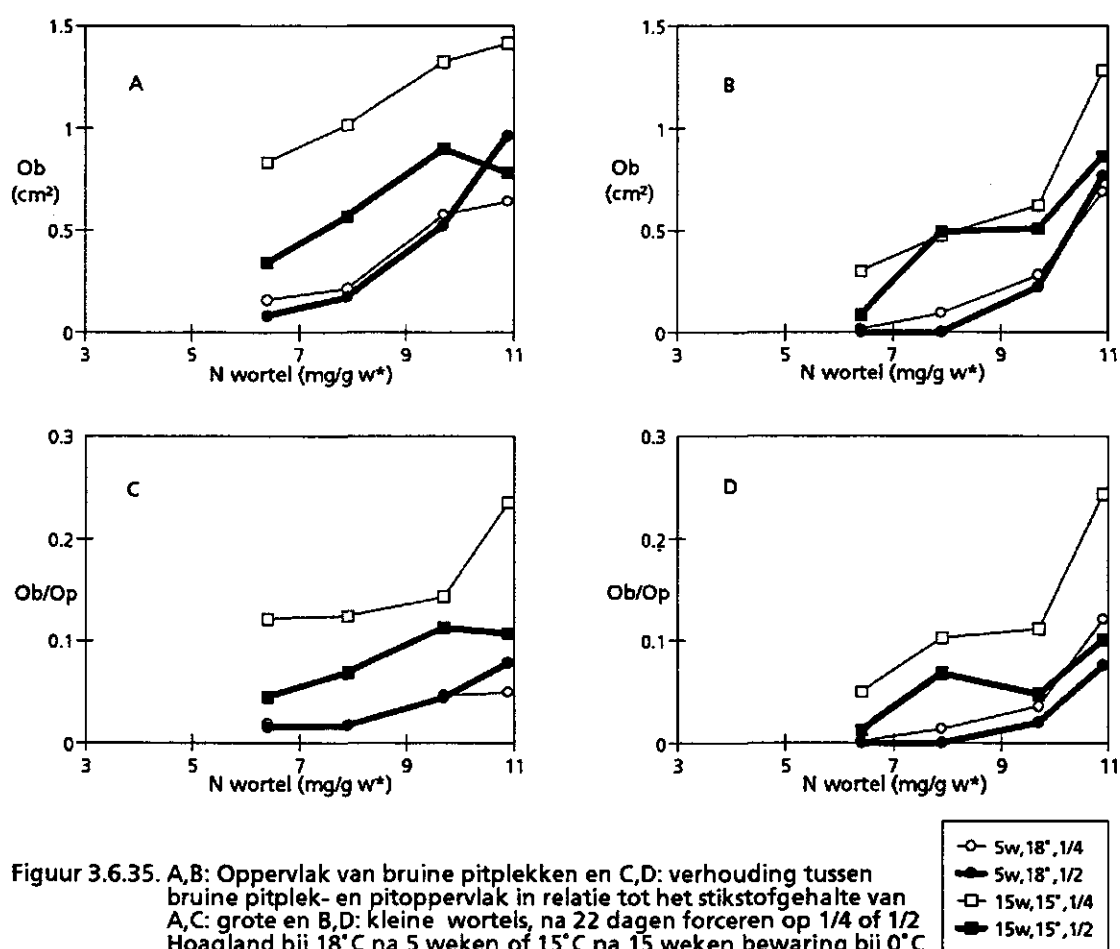
Zowel na 5 als na 15 weken bewaring was de pit aanzienlijk langer wanneer stikstofrijke kleine wortels werden geforceerd op 1/2 i.p.v. op 1/4 Hoagland. De pit was echter nauwelijks langer wanneer stikstofarme kleine wortels op 1/2 Hoagland werden geforceerd (Fig. 3.6.34.B). De pit was in bij alle kleine wortels iets korter wanneer de wortels langer waren bewaard.



Figuur 3.6.34. A,B: Lengte van de pit en C,D: verhouding tussen pit- en kroplengte in relatie tot het stikstofgehalte van A,C: grote en B,D: kleine wortels, na 22 dagen forceren op 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 5 weken of 15°C na 15 weken bewaring bij 0°C

Over de invloed van de concentratie van de voedingsoplossing en de bewaarduur is bij grote wortels moeilijk een uitspraak te doen, daar forceren op 1/2 Hoagland na 5 weken bewaring een kortere pit tot gevolg had in vergelijking tot forceren op 1/4 Hoagland. Na 15 weken bewaring was dat effect van de voedingsoplossing juist omgekeerd (Fig. 3.6.34.A). Een langere bewaring had evenals bij kleine wortels een kortere pit tot gevolg wanneer was geforceerd op 1/4 Hoagland, maar dit gold niet wanneer was geforceerd op een 1/2 Hoagland.

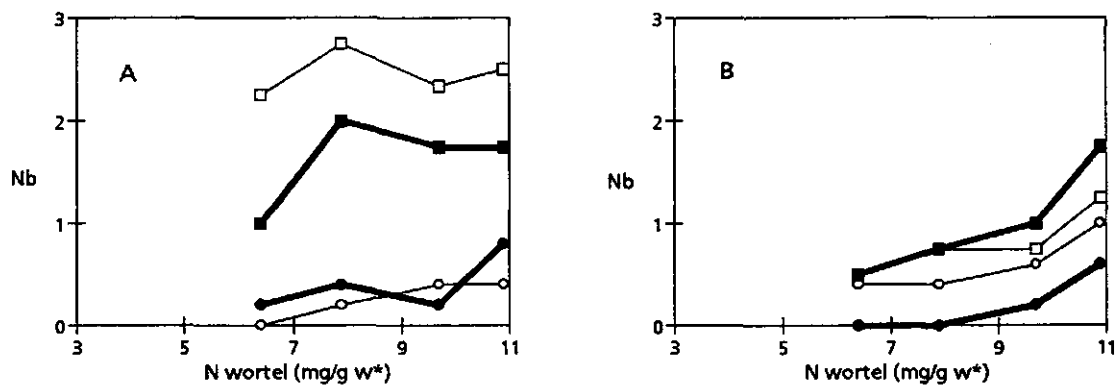
### Bruine pit



Figuur 3.6.35. A,B: Oppervlak van bruine pitplekken en C,D: verhouding tussen bruine pitplek- en pitoppervlak in relatie tot het stikstofgehalte van A,C: grote en B,D: kleine wortels, na 22 dagen forceren op 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 5 weken of 15°C na 15 weken bewaring bij 0°C

Naast de lengte van de pit varieerde ook de mate waarin bruine plekken in de pit voorkwamen. Het oppervlak van de pit dat bruin verkleurd was nam in alle gevallen sterk toe met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.6.35.A-B). Na 5 weken bewaring was er geen groot verschil in het oppervlak van bruine pit waar te nemen tussen kleine en grote wortels. Ook kon er geen effect van de concentratie van de voedingsoplossing worden waargenomen. Wanneer de wortels 15 weken bewaard waren nam het oppervlak van bruine pit in de krop enorm toe in vrijwel dezelfde mate bij stikstofarme als -rijke wortels. De toename van het bruine pit oppervlak na 15 weken bewaren was echter geringer bij kleine dan bij grote wortels. Na een lange bewaring had een geconcentreerde voedingsoplossing wel een geringer oppervlak van bruine pit tot gevolg. Dit effect van de voedingsoplossing was veel sterker bij grote dan bij kleine wortels. Hoewel de pit zelf ook groter was bij een hoger stikstofgehalte

van de wortel, hadden alle hiervoor beschreven effecten op het bruine pitoppervlak ook betrekking op de relatieve bruinverkleuring van de pit, d.w.z. het deel van het totale pitoppervlak dat bruin verkleurd was (Fig. 3.6.35.C-D).

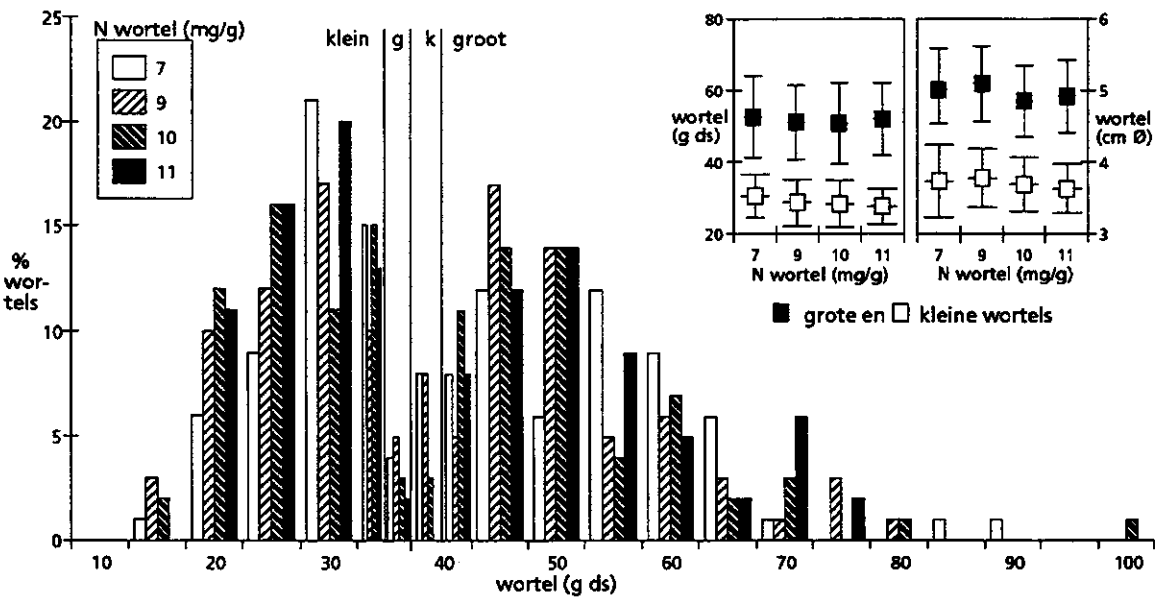


Figuur 3.6.36. Aantal bruine pitplekken per krop (Nb) in relatie tot het stikstofgehalte van A: grote en B: kleine wortels, na 22 dagen forceren op 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 5 weken of 15°C na 15 weken bewaring bij 0°C

Opvallend bij de bruinverkleuring van de pit was dat een toename ervan soms kon worden toegeschreven aan een toename van het aantal plekken met een gelijkblijvend oppervlak per plek en soms aan een toename van het oppervlak van eenzelfde aantal plekken. Zo kan de toename van het bruine pitoppervlak met het stikstofgehalte van grote wortels voor het grootste gedeelte worden toegeschreven aan een toename in oppervlak van de afzonderlijke plekken, daar het gemiddeld aantal plekken per krop niet veel varieert (Fig. 3.6.36.A). De toename in bruine pit als gevolg van langer bewaren en de reductie door het gebruik van een geconcentreerde voedingsoplossing zijn bij grote wortels daarentegen te wijten aan een toename c.q. reductie van het aantal plekken. Bij kleine wortels ligt dat wat anders. Daar is de toename in bruine pit met het stikstofgehalte van de wortel wel, in elk geval voor een groot deel, te wijten aan een toename van het aantal plekken (Fig. 3.6.36.B).

**3.7. Aandeel van stele en cortex in de redistributie van drogestof en stikstof uit grote en kleine wortels met een variërend stikstofgehalte, de invloed van de concentratie van de voedingsoplossing en het effect op de productie en samenstelling van pit en blad van de krop (experiment 9 & 10)**

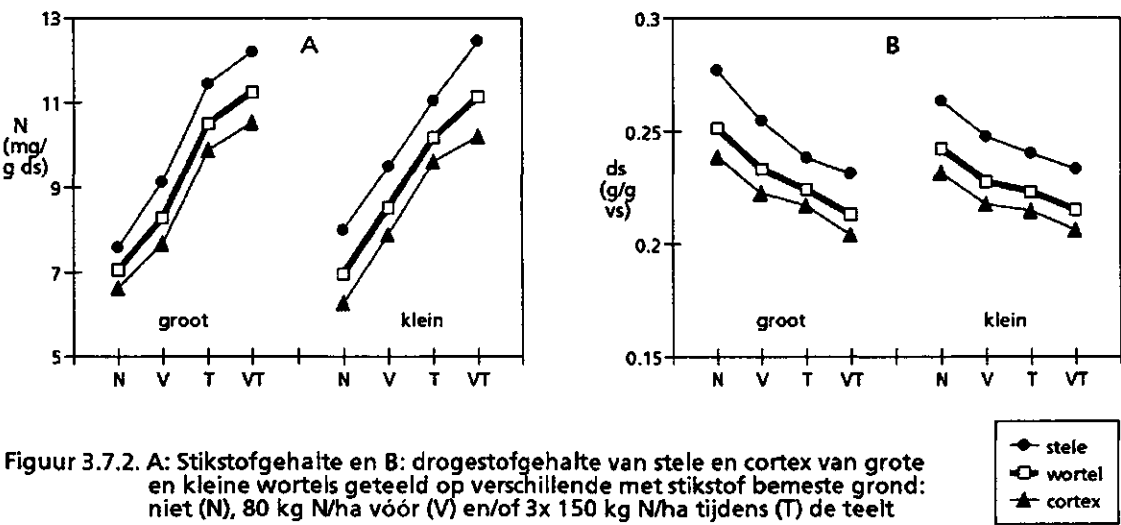
In voorgaande experimenten werd de redistributie van drogestof, met name stikstof, tijdens forceren gevolgd bij wortels die varieerden in stikstofgehalte (zie 3.4), waarbij in een aantal gevallen ook de maat van de wortels betrokken werd (zie 3.6.). De wortel bestaat van buiten naar binnen uit een peridermis en een cortex met opslagparenchym. Daarbinnen bevindt zich een door de endodermis omgeven centrale cilinder, de zogenaamde stele, waarin zich de transportbanen (xyleem, floëem en melksapvaten) bevinden en waarin ook opslagparenchym aanwezig is. In deze paragraaf worden twee experimenten besproken waarin het aandeel van de cortex en de stele in de totale drogestofredistributie tijdens forceren is bestudeerd bij wortels die variëren in maat en in stikstofgehalte. Ook is bij deze wortels gekeken hoeveel van de uit de wortel geredistribueerde stikstof afkomstig is uit de cortex en hoeveel uit de stele. Bovendien is nagegaan in welke mate stikstof naar de pit en naar het blad van de krop wordt getransporteerd in verhouding tot het totale drogestoftransport naar deze kropdelen. In de experimenten is gebruik gemaakt van partijen 'Flash' wortels afkomstig van velden die verschillend met stikstof bemest waren. De partijen werden opgesplitst in groepen kleine en grote wortels met een gemiddeld drooggewicht van resp. 28 en 52 gram en een gemiddelde diameter van resp. 3,7 en 5 cm (Fig. 3.7.1).



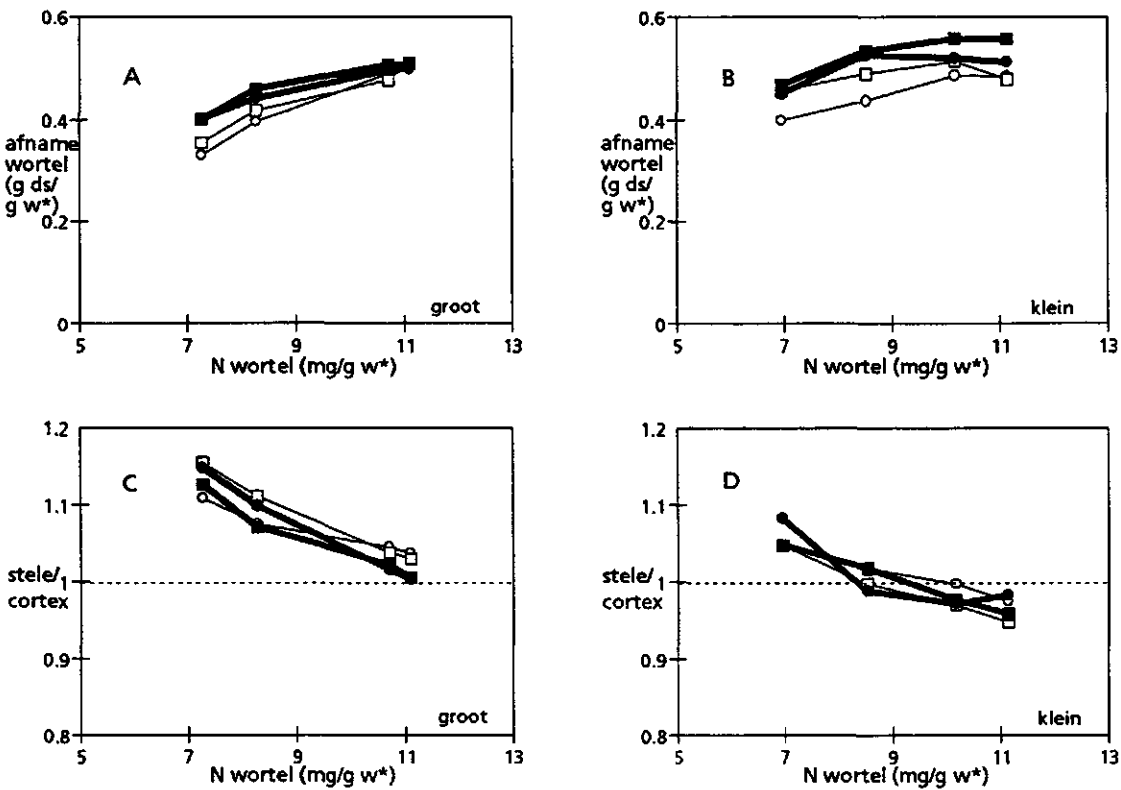
Figuur 3.7.1. Maatverdeling van de partijen grote en kleine wortels die variëren in stikstofgehalte

Ondanks de overeenkomstige teeltwijze en stikstofbemesting werden wortels verkregen met een range van stikstofgehalten die hoger lag dan in de experimenten 4 en 5 (zie 3.4.). De stikstofgehalten varieerden tussen de 7 en 11 mg/g drogestof (Fig. 3.7.2). De stikstofgehalten waren zelfs nog iets hoger dan in de experimenten 7 en 8 (zie 3.6.).

Het stikstofgehalte van de stele was bij alle partijen wortels hoger dan dat van de cortex (Fig. 3.7.2.A.). De stikstofrijke wortels hadden een lager drogestofgehalte, waarbij bij alle partijen wortels het drogestofgehalte van de stele hoger was dan dat van de cortex (Fig. 3.7.2.B.) De drogestofafname van de wortel na 21 dagen forceren was over het algemeen iets geringer bij grote dan bij kleine wortels (Fig. 3.7.3.A&B).



Figuur 3.7.2. A: Stikstofgehalte en B: drogestofgehalte van stele en cortex van grote en kleine wortels geteeld op verschillende met stikstof bemeste grond: niet (N), 80 kg N/ha vóór (V) en/of 3x 150 kg N/ha tijdens (T) de teelt

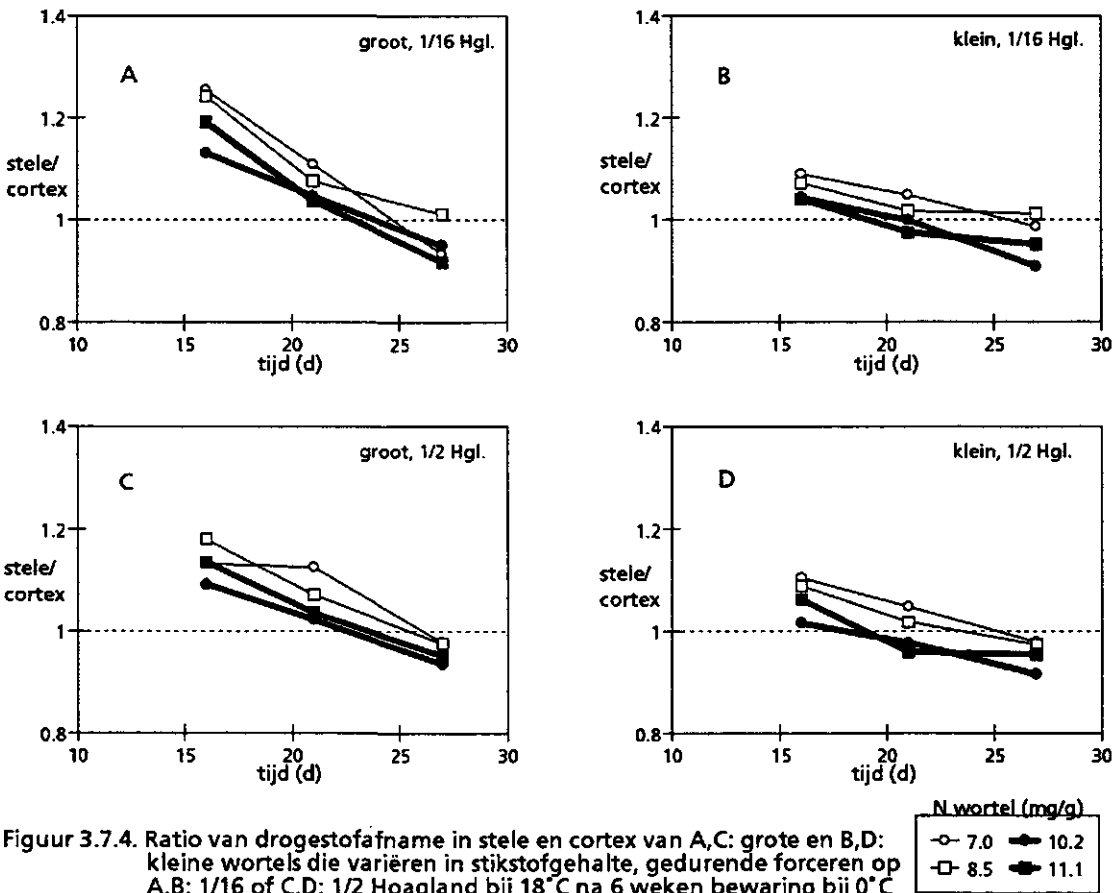


Figuur 3.7.3. A,B: Drogestofafname en C,D: ratio van afname van stele en cortex in A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, na 21 dagen forceren op 1/16, 1/8, 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 6 weken bewaring bij 0°C



Bij zowel de grote als de kleine wortels was de drogestofafname groter bij een hoger stikstofgehalte van de wortel. Wanneer geforceerd werd op een sterker geconcentreerde voedingsoplossing was de drogestofafname van kleine wortels altijd groter, ongeacht het stikstofgehalte (Fig. 3.7.3.B.). Bij grote wortels op een sterker geconcentreerde voedingsoplossing was alleen de drogestofafname van de stikstofarme wortels groter (Fig. 3.7.3.A.).

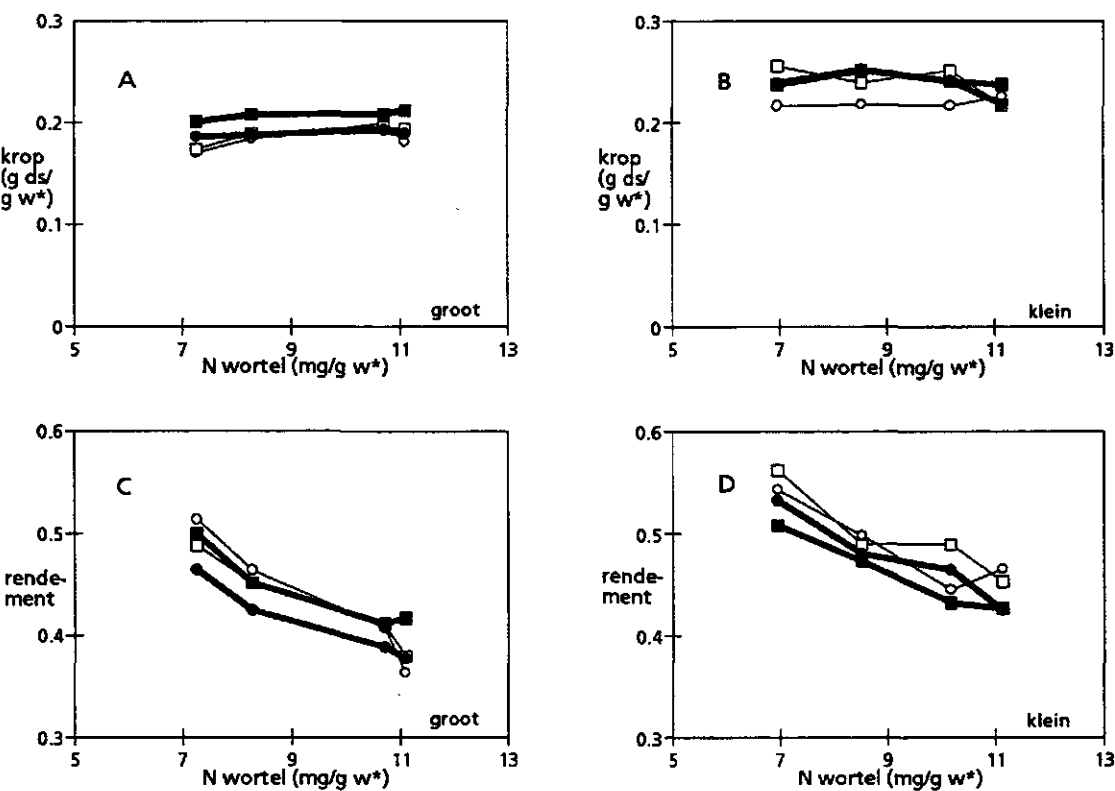
De drogestofafname vond niet bij alle wortels in gelijke mate in cortex en stele plaats. Bij grote stikstofarme wortels was de relatieve afname van de stele groter dan van de cortex. Dit was ook het geval bij kleine stikstofarme wortels, maar in minder sterke mate. Bij grote stikstofrijke wortels was de relatieve afname van stele en cortex ongeveer gelijk, terwijl bij kleine stikstofrijke wortels de relatieve afname van de stele juist iets kleiner was dan van de cortex. Met andere woorden: de verhouding tussen de relatieve afname van stele en cortex nam af met het stikstofgehalte van de wortel en was altijd lager bij kleine dan bij grote wortels (Fig. 3.7.3.C&D). De concentratie van de voedingsoplossing had geen invloed op de verhouding tussen de relatieve afname van stele en cortex.



Deze stele/cortex-ratio van drogestofafname varieerde niet alleen tussen de verschillende wortels, maar bleek ook tijdens het forceren te veranderen.

In een vroeg stadium tijdens forceren was de relatieve drogestofafname in de stele van grote wortels veel groter dan in de cortex, terwijl in een later stadium de cortex meer werd aangesproken, zodat na 27 dagen forceren de stele/cortex-ratio van drogestofafname kleiner was dan 1 (Fig. 3.7.4.A,C). Ook bij kleine wortels was de relatieve afname van de stele in het

begin groter dan van de cortex, maar dat verschil was veel minder groot dan bij grote wortels. De verandering in de stele/cortex-ratio van drogestofafname gedurende het forceren was ook veel minder sterk dan bij grote wortels, waardoor na 27 dagen forceren de stele/cortex-ratio's van kleine en grote wortels ongeveer gelijk waren (Fig. 3.7.4.B,D). Op alle meettijdstippen tijdens forceren van zowel kleine als grote wortels was de stele/cortex-ratio van drogestofafname groter bij stikstofarme dan bij stikstofrijke wortels.

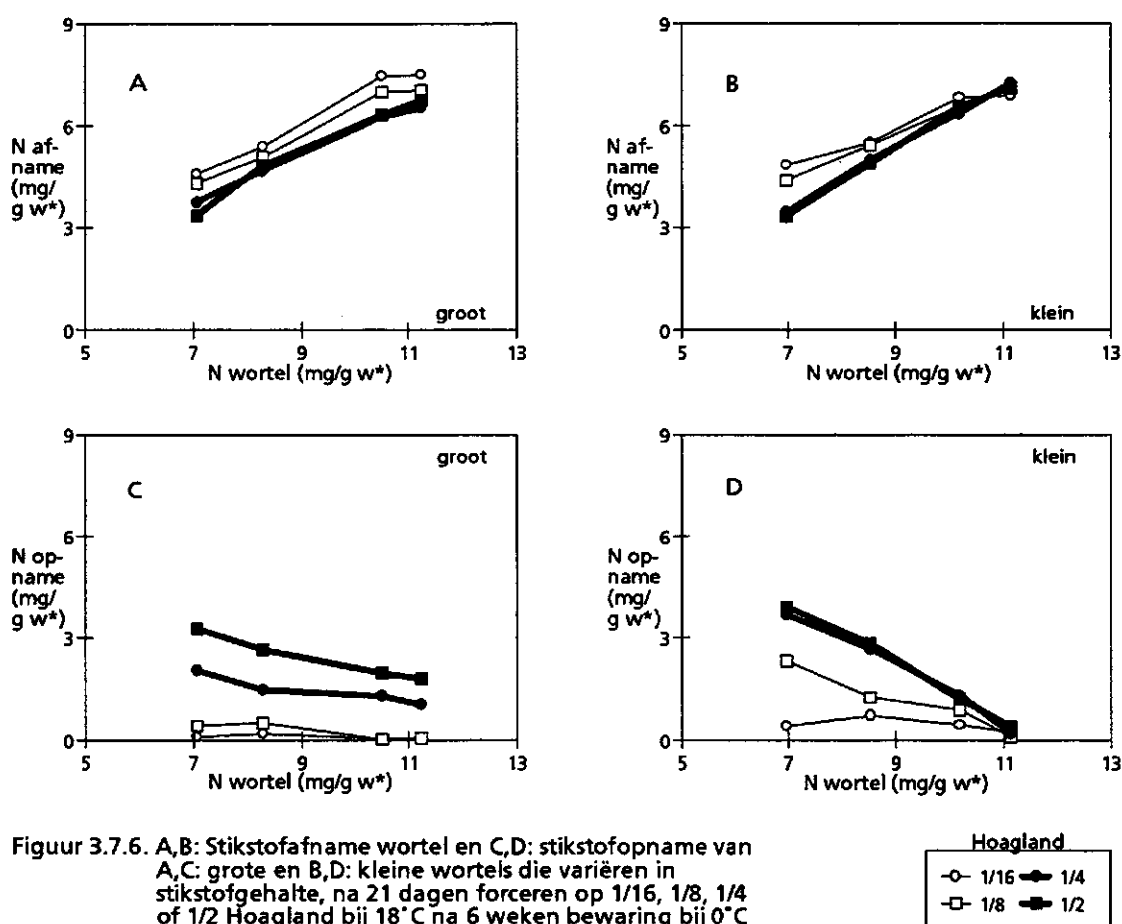


Figuur 3.7.5. A,B: Drogestofproductie krop en C,D: rendement van redistributie van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, na 21 dagen forceren op 1/16, 1/8, 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 6 weken bewaring bij 0°C

Ondanks de grotere drogestofafname van stikstofrijke wortels was er geen verschil waar te nemen in de drogestofproductie van de krop tussen stikstofrijke en -arme wortels, zowel bij kleine als grote wortels (Fig. 3.7.5.A-B). Een invloed van de concentratie van de voedingsoplossing was ook niet duidelijk waarneembaar. Bij grote wortels was de drogestofproductie van de krop hetzelfde bij 1/16, 1/8 en 1/4 Hoagland en was alleen iets groter bij 1/2 Hoagland. Bij kleine wortels was de kropproductie juist hetzelfde bij 1/8, 1/4 en 1/2 Hoagland en alleen iets kleiner bij 1/16 Hoagland.

Als gevolg van een gelijke drogestofproductie van de krop en een grotere drogestofafname bij stikstofrijke wortels nam het rendement van de drogestofredistributie af met het stikstofgehalte van de wortel, zoals ook in de voorgaande experimenten het geval was (Fig. 3.7.5.C-D). Ook bij het rendement van drogestofproductie was geen duidelijke invloed van de concentratie van de voedingsoplossing waarneembaar. Ook in overeenstemming met de resultaten van voorgaande experimenten was voor zowel stikstofarme als -rijke wortels het rendement groter bij kleine dan bij grote wortels.

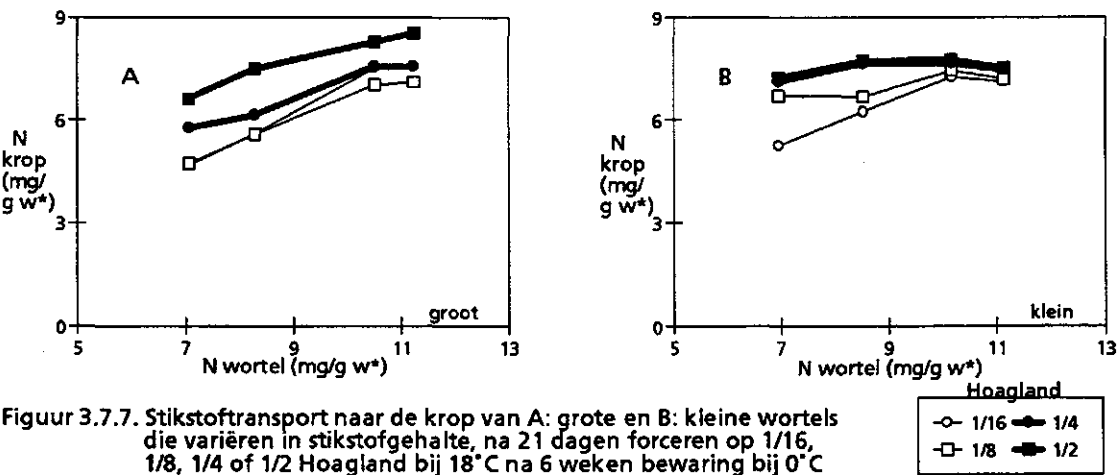
De stikstofafname van de wortel nam rechtevenredig toe met het stikstofgehalte van de wortel. Na 21 dagen forceren op 1/16 Hoagland was meer dan de helft van de oorspronkelijk in de wortels aanwezige stikstof naar de krop getransporteerd. Alleen bij kleine stikstofrijke wortels was relatief minder stikstof geredistribueerd. Na forceren op sterker geconcentreerde voedingsoplossingen was bij alle grote wortels de stikstofafname geringer dan op 1/16 Hoagland (Fig. 3.7.6.A). De opname uit de voedingsoplossing was daarentegen veel groter op sterker geconcentreerde voedingsoplossingen en overcompenseerde de geringere redistributie uit de grote wortels. Bij kleine wortels was de stikstofafname op sterker geconcentreerde voedingsoplossingen alleen kleiner bij stikstofarme wortels.



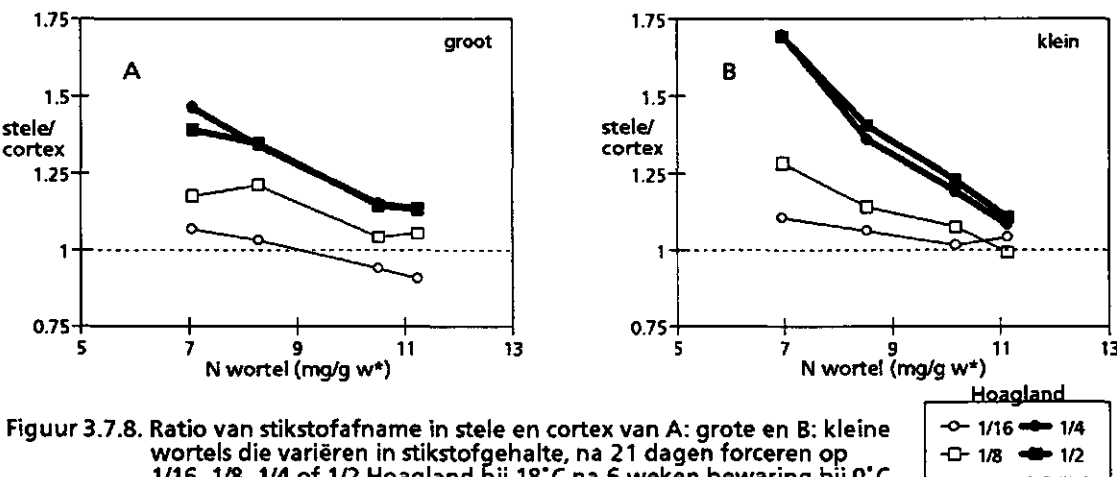
Bij deze wortels was de opname uit de geconcentreerde voedingsoplossingen ook groter dan op 1/16 Hoagland, maar bleef verwaarloosbaar bij kleine stikstofrijke wortels (Fig. 3.7.6.B,D). De geringe opname uit de 1/16 Hoagland voedingsoplossing had tot gevolg dat het stikstoftransport naar de krop vrijwel gelijk was aan de afname uit de wortel en dus toenam met het stikstofgehalte van de wortel. De geringere afname uit de wortel en de veel grotere opname uit de geconcentreerde voedingsoplossingen resulteerde in een groter stikstoftransport naar de krop bij zowel de stikstofarme als de -rijke grote wortels (Fig. 3.7.7.A).

Bij kleine stikstofarme wortels was er ook een geringere stikstofafname en een veel grotere opname uit de sterker geconcentreerde voedingsoplossingen dan uit 1/16 Hoagland. Bij de kleine stikstofrijke wortels was zowel de stikstofopname als de -afname uit de wortel hetzelfde op de verschillende voedingsoplossingen. Hierdoor was alleen bij de stikstofarme

wortels het stikstoftransport naar de krop groter op de geconcentreerde oplossingen (Fig. 3.7.7.B). Op 1/2 Hoagland was er vrijwel geen verschil in het stikstoftransport naar de krop tussen stikstofarme en -rijke wortels.



Figuur 3.7.7. Stikstoftransport naar de krop van A: grote en B: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, na 21 dagen forceren op 1/16, 1/8, 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 6 weken bewaring bij 0°C

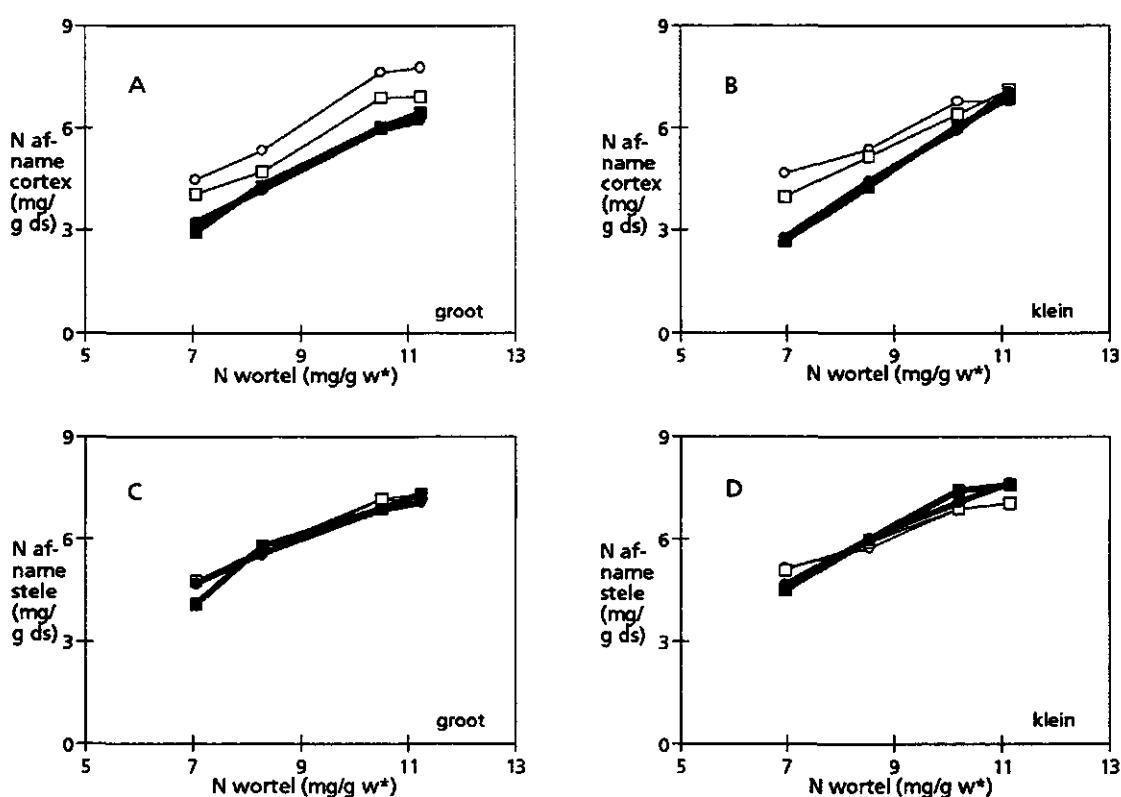


Figuur 3.7.8. Ratio van stikstofafname in stele en cortex van A: grote en B: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, na 21 dagen forceren op 1/16, 1/8, 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 6 weken bewaring bij 0°C

Ook de herkomst van de stikstof was niet bij alle wortels hetzelfde. Bij stikstofarme wortels werd niet alleen meer stikstof uit de stele, maar zelfs een groter deel van de stele-stikstof uit geredistribueerd, terwijl het stikstofgehalte hoger was dan van de cortex. Naarmate het stikstofgehalte van de wortel hoger was nam de stele/cortex-ratio van de stikstofafname af tot 1 of lager (Fig. 3.7.8). Wanneer een geconcentreerde voedingsoplossing gebruikt werd nam de stele/cortex-ratio van de stikstofafname sterk toe tot 1,5 bij grote wortels en tot 1,7 bij kleine stikstofarme wortels. Bij kleine stikstofrijke wortels bleef de ratio ongeveer gelijk. Deze verandering in de stele/cortex-ratio van de stikstofafname wordt veroorzaakt door een merkwaardig verschijnsel. De stikstofafname uit zowel stele als cortex neemt toe met het stikstofgehalte van de wortel, maar de afname uit de stele in een iets sterkere mate, zodat de ratio afneemt met het stikstofgehalte. Wanneer geforceerd wordt op een geconcentreerde voedingsoplossing verandert er echter niets in de stikstofafname uit de stele (Fig. 3.7.9.C-D). De geringere stikstofafname uit de wortel zoals die hiervoor is beschreven (zie Fig. 3.7.6) is volledig toe te schrijven aan een geringere afname in de cortex (Fig. 3.7.9.A-B). Door deze

geringere stikstofafname uit de cortex bij een gelijkblijvende afname uit de stele neemt de stele/cortex-ratio van de stikstofafname sterk toe.

Het totale stikstoftransport naar de krop, d.w.z. de redistributie uit de wortel plus opname, was in de meeste gevallen wat groter bij stikstofrijke dan bij -arme wortels, behalve bij kleine wortels op de geconcentreerde voedingsoplossingen.



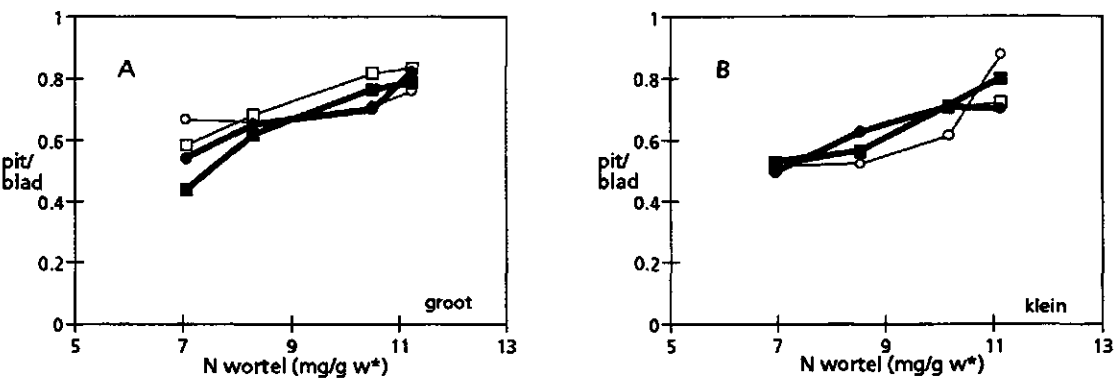
Figuur 3.7.9. Stikstofafname in A,B: de cortex en C,D: de stele van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, na 21 dagen forceren op 1/16, 1/8, 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 6 weken bewaring bij 0°C

Hoagland	
○ 1/16	● 1/4
□ 1/8	■ 1/2

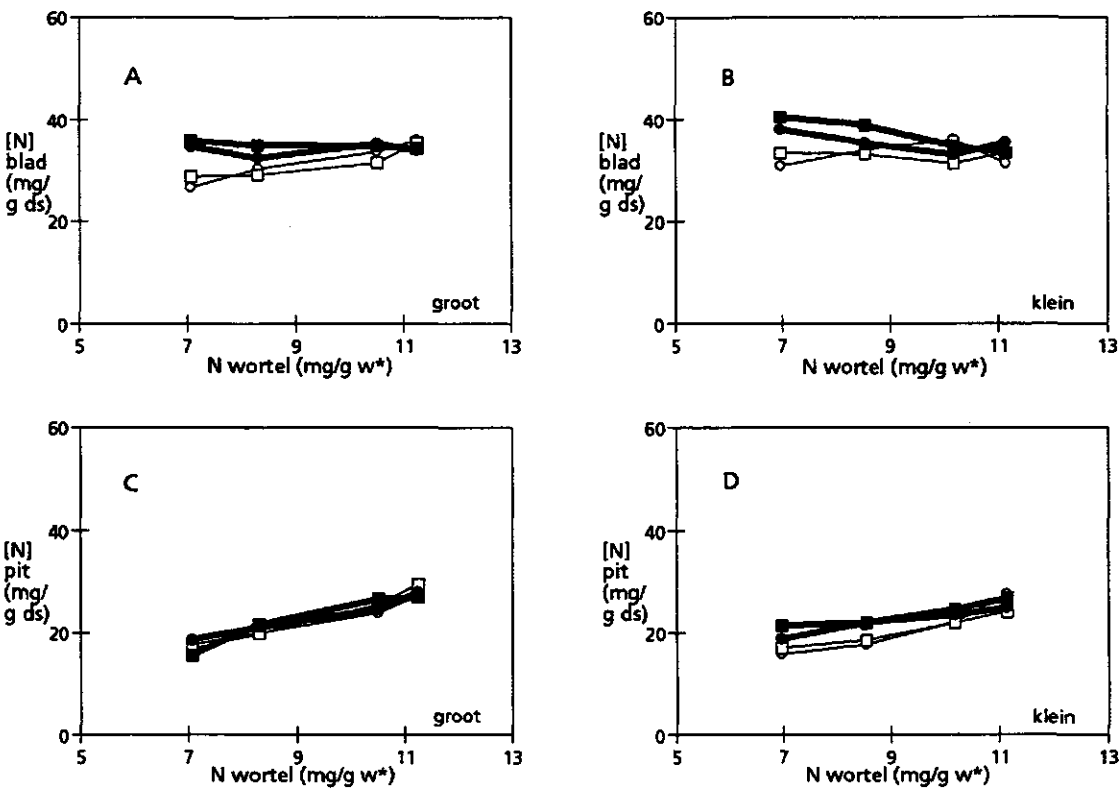
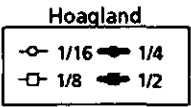
Het grootste deel van de stikstof kwam in het blad terecht. Hoewel dat ook voor de drogestof gold was toch in alle gevallen het stikstofgehalte van de pit veel lager dan van het blad (Fig. 3.7.10).

De verhouding tussen het stikstofgehalte van de pit en van het blad nam toe naarmate het stikstofgehalte van de wortel groter was, d.w.z. er kwam een relatief groter deel van stikstof in de pit terecht bij stikstofrijke wortels. Dit gold voor zowel kleine als grote wortels (Fig. 3.7.10). Forceren op een geconcentreerde voedingsoplossing lijkt bij grote wortels, in elk geval bij stikstofarme grote wortels, een grotere pit/blad-ratio van het stikstofgehalte tot gevolg te hebben. Bij kleine wortels is geen effect van de voedingsoplossing waarneembaar. Bij forceren op 1/16 Hoagland neemt het stikstofgehalte van het blad, maar vooral van de pit, toe bij grote wortels. Bij kleine wortels neemt alleen het stikstofgehalte van de pit toe. Wanneer geforceerd werd op geconcentreerde voedingsoplossingen veranderde er niets aan het stikstofgehalte van de pit bij grote wortels, maar nam alleen het stikstofgehalte van de krop toe (Fig. 3.7.11.A,C). Bij kleine wortels nam ook het stikstofgehalte in het blad toe op geconcentreerde voedingsoplossingen, in dezelfde mate als bij grote wortels, maar het

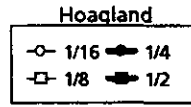
stikstofgehalte in de pit nam eveneens toe, zodat er nauwelijks veranderingen in de pit/blad-ratio van het stikstofgehalte optraden.



Figuur 3.7.10. Ratio van het stikstofgehalte van pit en blad van de krop van A: grote en B: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, na 21 dagen forceren op 1/16, 1/8, 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 6 weken bewaring bij 0°C



Figuur 3.7.11. Stikstofgehalte van A,B: het blad en C,D: de pit van de krop van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, na 21 dagen forceren op 1/16, 1/8, 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 6 weken bewaring bij 0°C



### **3.8. Forceer-experimenten met 'Flash' wortels die variëren in stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van Nederland**

In 1990 en 1991/92 zijn in samenwerking met het PAGV experimenten uitgevoerd met wortels van het ras 'Flash' die werden betrokken van witlofbedrijven in verschillende regio's van Nederland, met name Noord- en Zuid-Holland, Zeeland, Brabant, Utrecht, Gelderland en Limburg. Dit betekent dat wortels werden verkregen van eenzelfde ras die onder verschillende omstandigheden waren geteeld (grondsoort, weersomstandigheden, zaai- en rooitijdstip) en bewaard (temperatuur, luchtvochtigheid, duur).

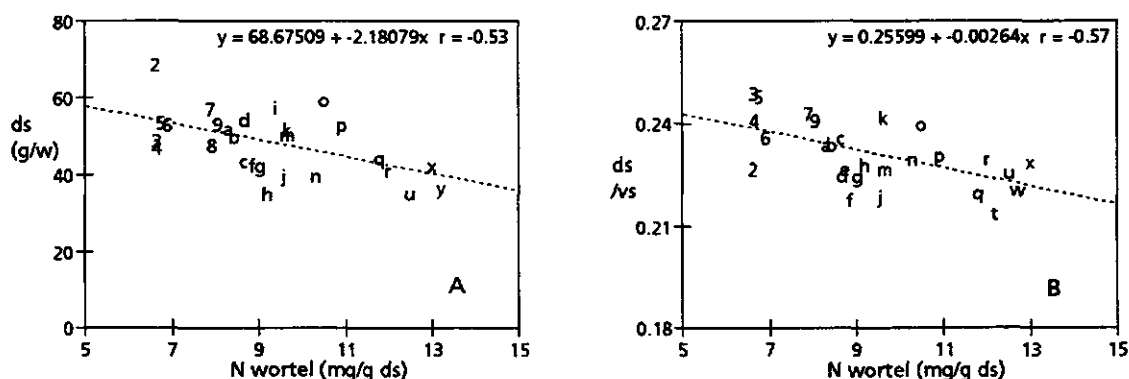
De bedoeling van deze experimenten was om na te gaan in hoeverre de forceerresultaten bij het op een standaard wijze forceren van wortelmateriaal met een verschillende praktijkherkomst qua patroon overeen komen met de hiervoor beschreven resultaten.

Er werden wortels ingezameld met een diameter tussen de 3 en 6 cm. Deze wortels werden zorgvuldig gewassen, gewogen en vervolgens onder dezelfde omstandigheden geforceerd op het PAGV. Na forceren werden de kroppen geschoond, ingedeeld in verschillende kwaliteitsklassen volgens veilingrichtlijnen, en gewogen. Ook het bladafval dat na het schonen van de kroppen overbleef werd per kwaliteitsklasse gewogen.

Monsters van de verschillende groepen wortels voor en na forceren werden gedroogd bij 70°C om het drogestof- en vervolgens het stikstofgehalte te bepalen. Deze analyses werden ook uitgevoerd met de kroppen en het bladafval van de verschillende kwaliteitsklassen.

### 3.8.1. Het 1<sup>e</sup> experiment met wortels van verschillende praktijkherkomst - eind 1990

De wortels die voor dit experiment gebruikt werden waren afkomstig van 31 witlofproducenten uit verschillende regio's. De wortels werden eind oktober verzameld en slechts enkele dagen later, op 2 november opgezet in een forceerinstallatie op het PAGV. Tijdens het forceren werd een luchttemperatuur van 15°C aangehouden en een watertemperatuur van 18°C. Na 21 dagen forceren werden de kroppen op 23 november geoogst, geschoond en de kwaliteit beoordeeld. Na drogen van wortel-, krop- en bladafvalmonsters werd in dit experiment naast het drogestof- en stikstofgehalte ook het gehalte en de samenstelling van koolhydraten bepaald.



Figuur 3.8.1. A: Drooggewicht en B: drogestofgehalte van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land

De wortels van de verschillende partijen varieerden sterk in stikstofgehalte, en bovendien lag de range van stikstofgehaltes hoger dan in de hiervoor beschreven experimenten, nl. van 6,8 tot 13,2 mg N/g ds wortel. Niet alleen varieerden de partijen wortels in stikstofgehalte, maar ook in wortelmaat. Het wortelversgewicht leek negatief gecorreleerd aan het stikstofgehalte van de wortel.

$$\text{relatie g vs wortel (y) en mg N wortel/g ds (x): } y = 275,317 - 0,7275 x ; r = -0,43$$

Doordat ook het drogestofgehalte van de wortel lager was bij een hoger stikstofgehalte was de negatieve correlatie tussen het drooggewicht en stikstofgehalte van de wortel nog sterker (Fig. 3.8.1).

Zowel de bruto kropopbrengst, d.w.z. de ongeschoonde krop, als de hoeveelheid bladafval per wortel was geringer bij wortels met een hoger stikstofgehalte (Fig. 3.8.2). Aangezien de stikstofrijke wortels zelf gemiddeld een geringer gewicht hadden was er geen invloed van het stikstofgehalte op de relatieve kropopbrengst aan te tonen.

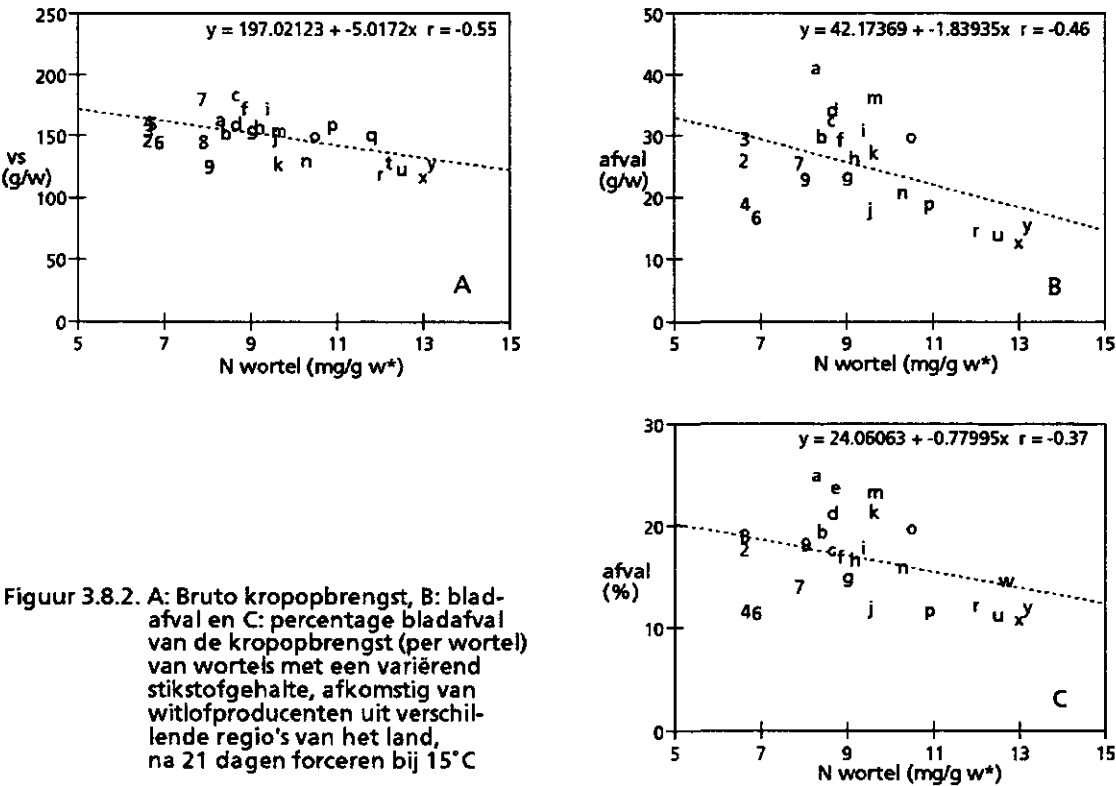
$$\text{relatie g bruto vs opbrengst/g ds wortel (y) en mg N wortel/g ds (x): } y = 3,226 - 0,003 x ; r = -0,01$$

De relatieve drogestofopbrengst toonde dezelfde verbanden met het stikstofgehalte van de wortel als de versestofopbrengst, aangezien er geen relatie bestond tussen het drogestofgehalte van de krop en het stikstofgehalte van de wortel.

Hoewel de correlatie-coëfficiënt tamelijk laag was leek over het algemeen het percentage van de kroppen dat aan de klasse I kwaliteitsnormen voldeed lager te zijn bij wortels met een hoger stikstofgehalte, nl. tussen de 50 en 90% bij wortels met een stikstofgehalte van 6 à 7 mg N/g ds en tussen de 25 en 60% bij wortels met een stikstofgehalte van 12 à 13 mg N/g ds (Fig. 3.8.3). Daarnaast nam juist het percentage klasse III kroppen sterk toe. Nooit meer dan

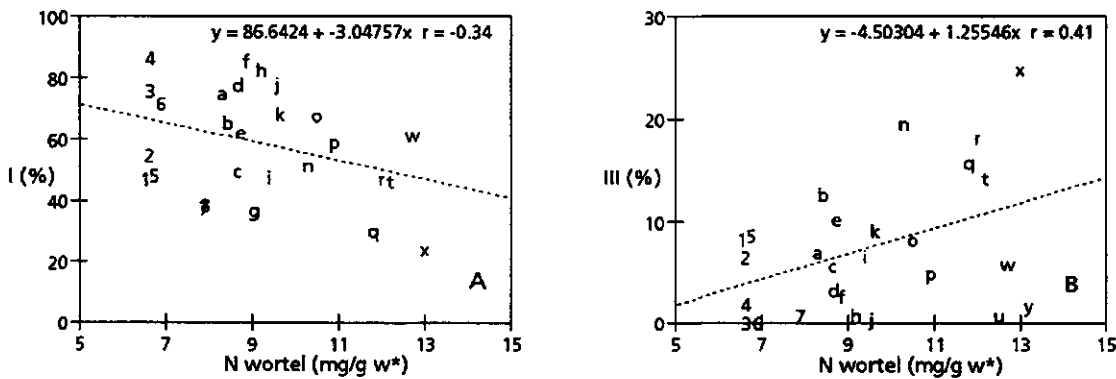


10% van de kroppen was klasse III bij wortels met een stikstofgehalte van 6 à 7 mg N/g ds, terwijl dat tot 25% kon toenemen bij wortels met een stikstofgehalte van 12 à 13 mg N/g ds. Toch was de variatie in de kropkwaliteit van wortels met hetzelfde stikstofgehalte erg groot. Er waren zowel partijen wortels met een hoog als met een laag stikstofgehalte die in het geheel geen klasse III kroppen produceerden.



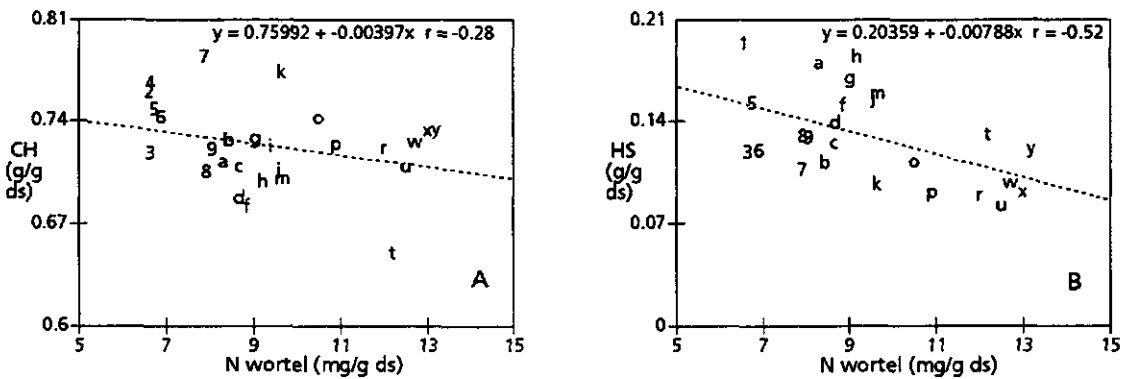
Figuur 3.8.2. A: Bruto kropopbrengst, B: bladafval en C: percentage bladafval van de kropopbrengst (per wortel) van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, na 21 dagen forceren bij 15°C

Opvallend was dat ook de samenstelling van koolhydraten in de wortel nogal sterk verschilde. Het totale koolhydraatgehalte varieerde tussen de 65 en 80% en was niet duidelijk gerelateerd aan het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.8.4.A). Wat wel een verband leek te vertonen met het stikstofgehalte van de wortel was het gehalte aan hexosen plus sacharose.



Figuur 3.8.3. Percentage kroppen van A: klasse I en B: klasse III van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, na 21 dagen forceren bij 15°C

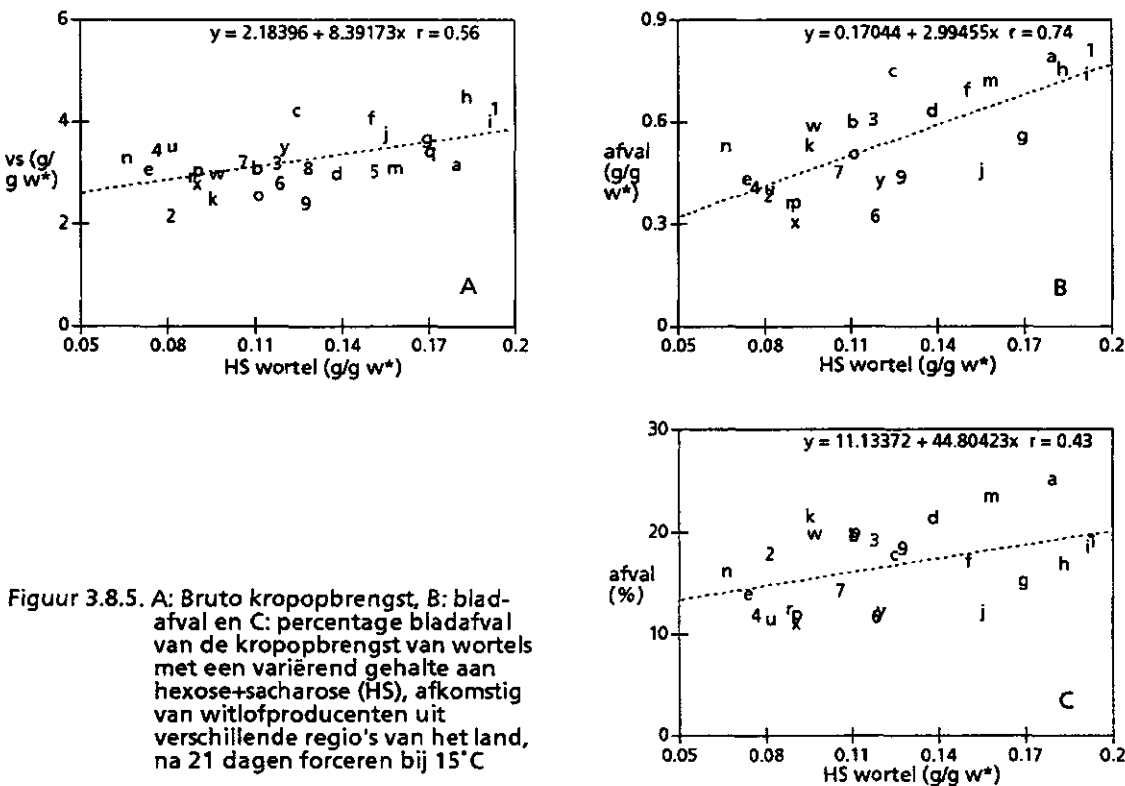
Dit gehalte aan vrije suikers nam af bij een hoger stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.8.4.B). Dat wil zeggen dat de directe beschikbaarheid van koolhydraten aan het begin van forceren geringer was bij stikstofrijke wortels.



Figuur 3.8.4. A: Koolhydraatgehalte (CH) en B: gehalte aan hexose+sacharose (HS) in wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land

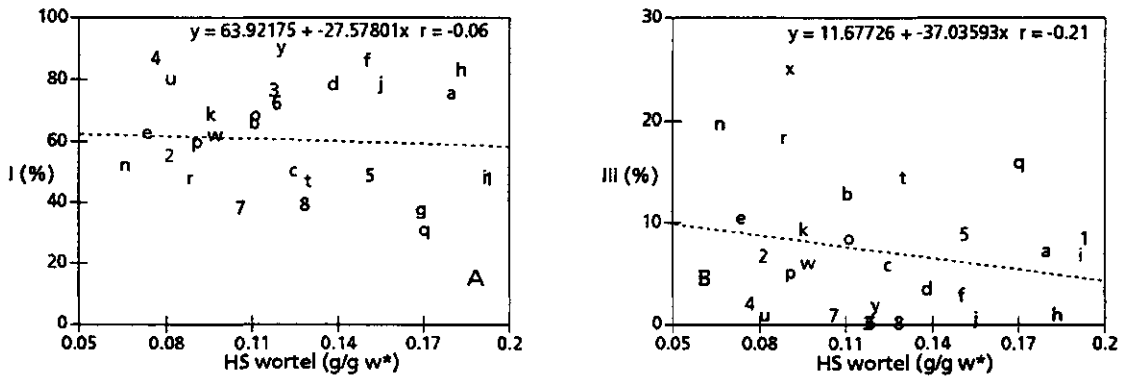
Om na te gaan of er daardoor ook een correlatie bestond tussen de kropproductie en het vrije suikergehalte is de relatieve krop- en afvalproductie uitgezet tegen het gehalte aan hexosen plus sacharose in Fig. 3.8.5.

In tegenstelling tot wat waargenomen werd bij het stikstofgehalte nam de kroppopbrengst per g ds wortel sterk toe bij een hoger gehalte aan vrije suikers in de wortel.



Figuur 3.8.5. A: Bruto kroppopbrengst, B: bladafval en C: percentage bladafval van de kroppopbrengst van wortels met een variërend gehalte aan hexose+sacharose (HS), afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, na 21 dagen forceren bij 15°C

Hoewel de kropopbrengst niet zozeer door het stikstofgehalte van de wortel werd beïnvloed, had het wel gevolgen voor de kwaliteit van de kroppen. Een hoger gehalte aan vrije suikers daarentegen veroorzaakte wel aanzienlijk hogere kropopbrengst, maar bleek juist geen duidelijke invloed te hebben op de kropkwaliteit. De variatie in het percentage klasse I kroppen was net zo groot bij een laag als bij een hoog gehalte aan vrije suikers en dit gold min of meer ook voor de variatie in het percentage klasse III kroppen (Fig. 3.8.6).



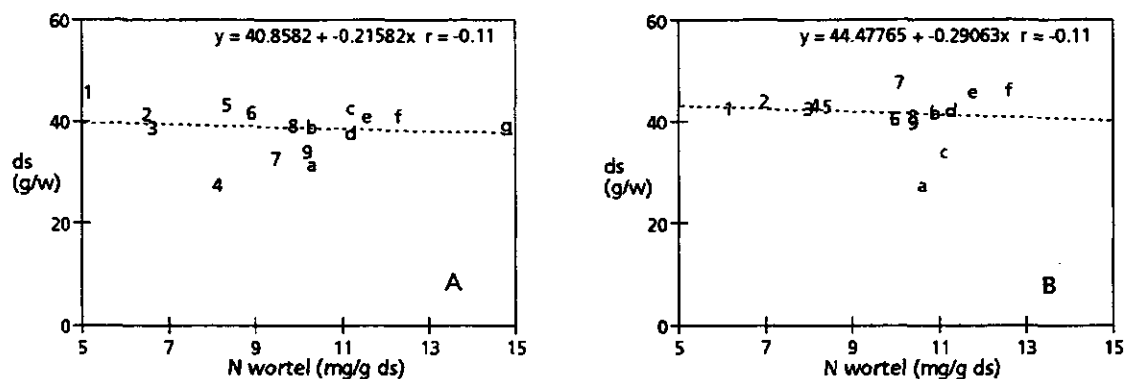
Figuur 3.8.6. Percentage kroppen van A: klasse I en B: klasse III van wortels met een variërend gehalte aan hexose+sacharose (HS), afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, na 21 dagen forceren bij 15°C

### 3.8.2. Het 2<sup>e</sup> experiment met wortels van verschillende praktijkherkomst - 1991/92

In navolging op het forceerexperiment met partijen wortels uit de praktijk dat eind 1990 werd uitgevoerd is in 1991 opnieuw aan verschillende witlofproducenten gevraagd wortels van het ras 'Flash' beschikbaar te stellen voor een vergelijkend onderzoek. Bij 17 bedrijven uit verschillende regio's van het land werden half oktober wortels verzameld en opgeslagen in een koelcel op het PAGV bij een temperatuur van 0°C. Circa een week later, op 22 november werden de partijen voor een deel opgezet in een forceerinstallatie op het PAGV. Tijdens forceren werd een luchttemperatuur van 16°C aangehouden en een watertemperatuur van 19°C. Na 24 dagen forceren werden de kroppen op 16 december geoogst, geschoond en de kwaliteit beoordeeld. Bij de beoordeling van de kwaliteit werden de kroppen nu niet alleen ingedeeld in de klassen I, II en III, maar werd bij de klassen I en II onderscheid gemaakt tussen korte en lange kroppen.

Zes weken na het opzetten van een deel van de wortels werd op 3 januari 1992 een tweede trek gestart, met het andere deel van de partijen. Nu werd geforceerd bij een luchttemperatuur van 15°C en een watertemperatuur van 18°C. Na 21 dagen forceren werden op 24 januari de kroppen op dezelfde manier als na de eerste trek geoogst en op kwaliteit in verschillende klassen ingedeeld. Daarnaast werd bij deze tweede trek ook de pit- en kropplengte gemeten en werd geregistreerd of in de kroppen bruine pit voorkwam.

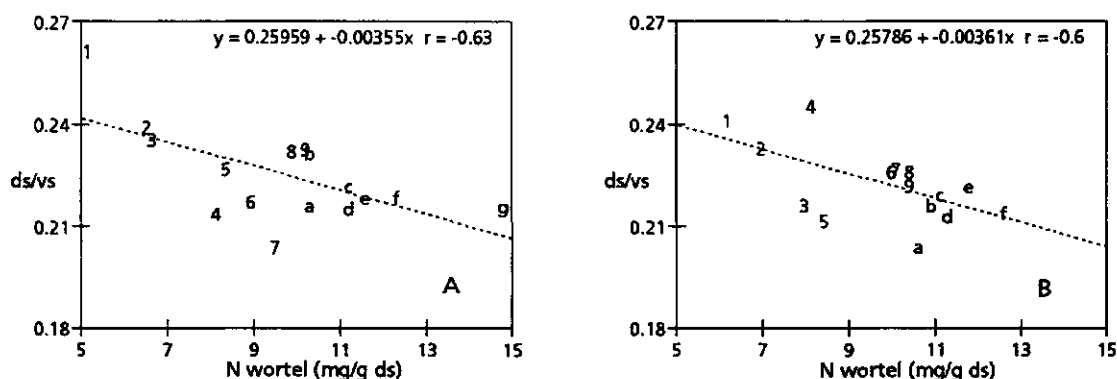
Voor en na zowel de eerste als de tweede trek werden monsters genomen van de wortels voor de bepaling van het drogestof- en stikstofgehalte. Ook werden monsters genomen van de kroppen en het bladafval van de vijf kwaliteitsklassen na de eerste en de tweede trek.



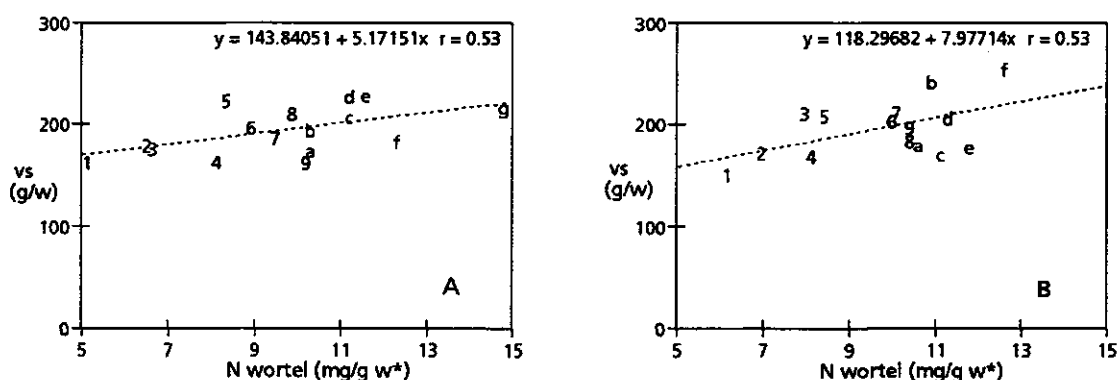
Figuur 3.8.7. Drooggewicht van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, die gebruikt werden voor forceren na A: 1 week en B: 7 weken bewaring bij 0°C

Vergeleken met het eerste experiment was er veel minder variatie in wortelmaat tussen de verschillende partijen wortels. Wel was er opnieuw een grote variatie in stikstofgehalte van de wortels, nl. van 5 tot 15 mg N/g ds. Er kon echter geen relatie waargenomen worden tussen het gewicht en het stikstofgehalte van de wortels (Fig. 3.8.7). Evenals in het eerste experiment was het drogestofgehalte duidelijk lager naarmate het stikstofgehalte van de wortel hoger was (Fig. 3.8.8).

De bruto (ongeschoonde) kropopbrengst per wortel nam in dit experiment wel toe met het stikstofgehalte van de wortel. Met een toename van het stikstofgehalte van 5 naar 15 mg N/g ds nam bij forceren na 1 week bewaring de kropopbrengst gemiddeld met 30% toe. Na 7 weken bewaring was die toename gemiddeld zelfs 50% (Fig. 3.8.9).



Figuur 3.8.8. Drogestofgehalte van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, die gebruikt werden voor forceren na A: 1 week en B: 7 weken bewaring bij 0°C



Figuur 3.8.9. Bruto kropopbrengst (per wortel) van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, na forceren. A: 24 dagen bij 16°C na 1 week en B: 21 dagen bij 15°C na 7 weken bewaring bij 0°C

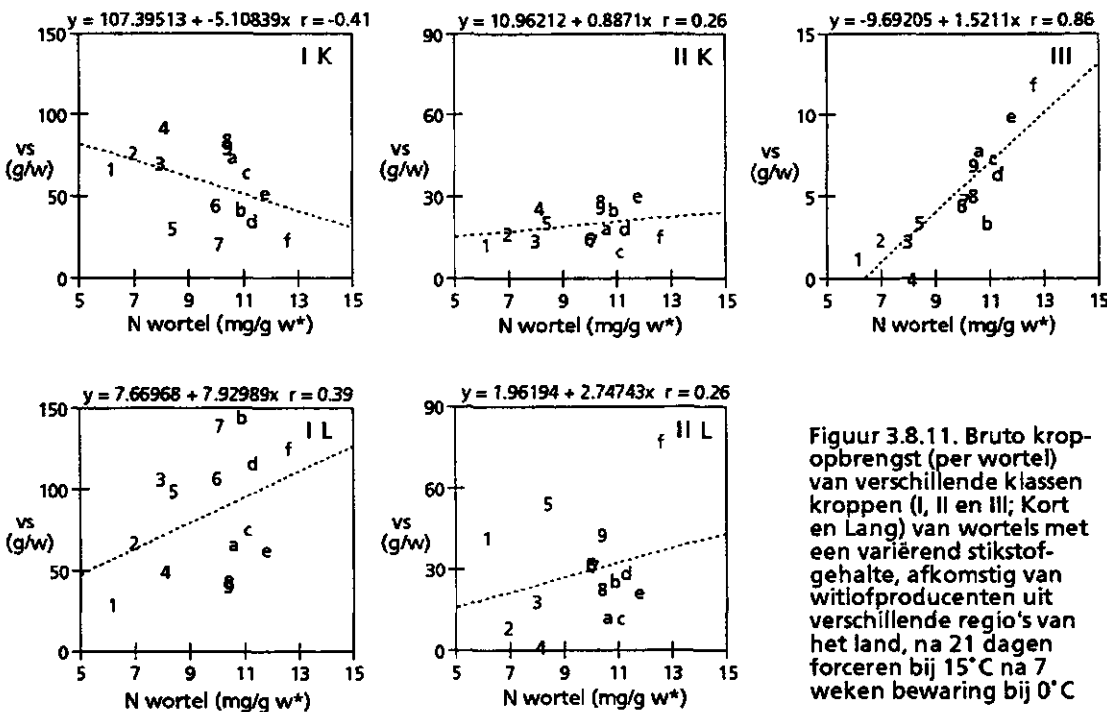
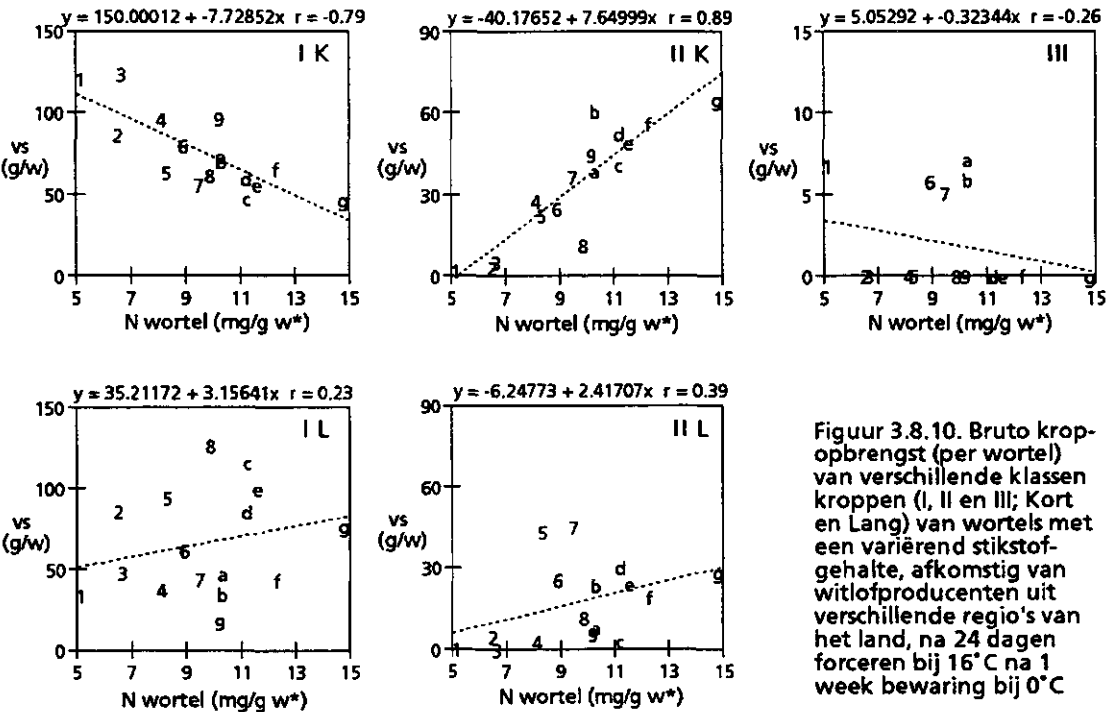
Over het algemeen was de kropopbrengst bij forceren na 7 weken niet hoger dan na 1 week bewaring, terwijl de forceertemperatuur slechts 1°C lager was gehouden. Dit kan het gevolg zijn geweest van een 3 dagen langere forceerperiode na 1 week bewaring.

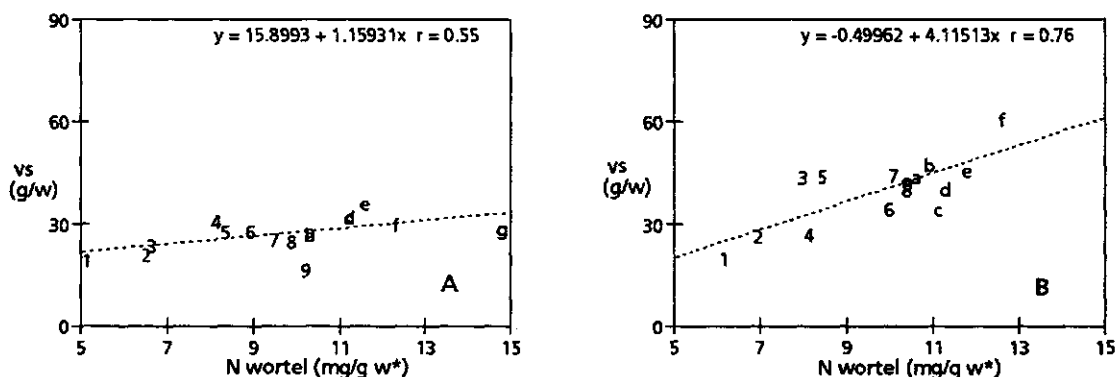
De invloed van het stikstofgehalte van de wortel op de kropopbrengst was echter niet hetzelfde voor de verschillende kwaliteitsklassen. Bij de eerste trek nam de opbrengst van klasse II kroppen heel sterk toe ( $y = -4,64242 + 1,00671x$ ;  $r = 0,80$ ), terwijl de opbrengst van klasse I kroppen zelfs afnam ( $y = 18,52118 - 0,45721x$ ;  $r = -0,41$ ). Er werden maar zeer weinig klasse III kroppen gevormd. Opmerkelijk was dat de afname van klasse I kroppen alleen de korte kroppen betrof en bovendien dat de toename van klasse II kroppen ook hoofdzakelijk een toename was van korte kroppen (Fig. 3.8.10).

Bij forceren na 7 weken bewaring nam de opbrengst van zowel lange als korte klasse II kroppen juist nauwelijks toe met het stikstofgehalte van de wortel. De opbrengst van korte klasse I kroppen nam wel af, maar in tegenstelling tot na 1 week bewaring nam de opbrengst van lange klasse I kroppen sterk toe (Fig. 3.8.11). Een ander verschil met forceren na 1 week bewaring was dat er nu wel klasse III kroppen gevormd werden. De opbrengst van klasse III kroppen nam zeer sterk toe met het stikstofgehalte van de wortel.

Zoals ook bij de totale bruto kropopbrengst nam bij forceren de hoeveelheid bladafval toe met het stikstofgehalte van de wortel en wel met gemiddeld ruim 50% na 1 week bewaring bij een toename van het stikstofgehalte van 5 naar 15 mg N/g ds (Fig. 3.8.12).

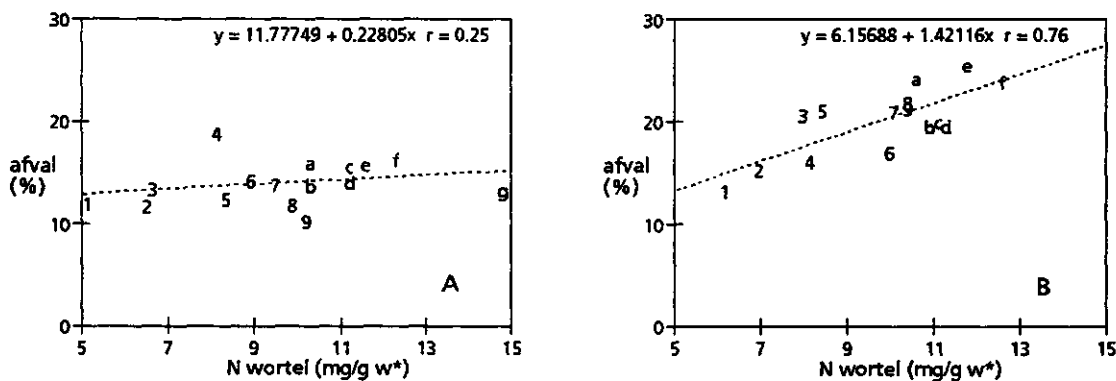
Bij forceren na 7 weken bewaring nam de hoeveelheid bladafval zelfs toe met gemiddeld 200% bij een toename van het stikstofgehalte van 5 naar 15 mg N/g ds.





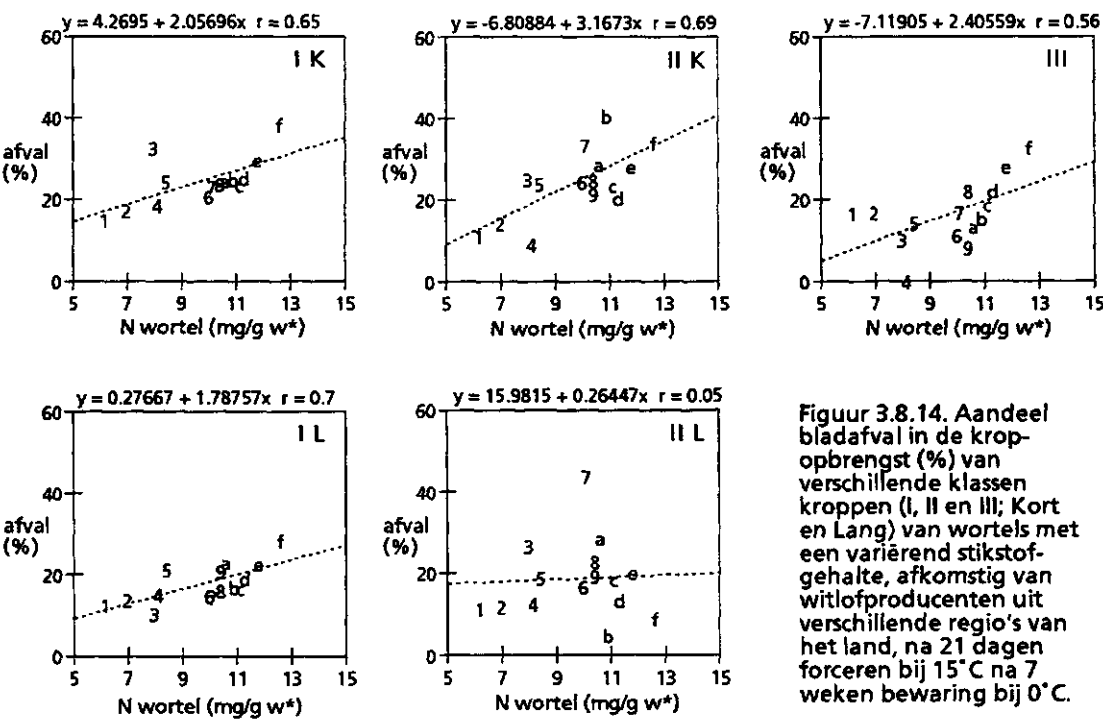
Figuur 3.8.12. Bladafval (tarra) van de kropopbrengst (per wortel) van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, na A: 24 dagen forceren bij 16°C na 1 week bewaring bij 0°C en B: 21 dagen forceren bij 15°C na 7 weken bewaring bij 0°C

Zowel bij forceren na 1 maar vooral na 7 weken bewaring nam de hoeveelheid bladafval dus relatief meer toe met het stikstofgehalte van de wortel dan de bruto kropopbrengst en daar-door dus ook meer dan de netto kropopbrengst. Dit betekent dat het percentage bladafval van de bruto kropopbrengst toenam met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.8.13). De toename van het percentage bladafval is echter vrij gering na 1 week bewaring en heeft een zeer lage correlatie-coëfficiënt, maar is zeer sterk na 7 weken bewaring: bij een toename van het stikstofgehalte van 5 tot 15 mg N/g ds nam het percentage bladafval gemiddeld toe van 13 tot 28% van de totale opbrengst .



Figuur 3.8.13. Aandeel van het bladafval in de kropopbrengst (%) van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, na A: 24 dagen forceren bij 16°C na 1 week bewaring bij 0°C en B: 21 dagen forceren bij 15°C na 7 weken bewaring bij 0°C

Deze toename van het percentage bladafval met het stikstofgehalte van de wortel trad bij vrijwel alle kwaliteitsklassen op, behalve bij de lange klasse II kroppen en ook in iets minder sterke mate bij de lange klasse I kroppen (Fig. 3.8.14). Ondanks het met het stikstofgehalte toenemende bladafvalpercentage vertoonde de netto (geschoonde) kropopbrengst dezelfde relaties met het stikstofgehalte als de hiervoor be-schreven bruto opbrengst met vrijwel dezelfde correlatie coëfficiënten, ook wat betreft de verdeling over de verschillende kwaliteitsklassen.

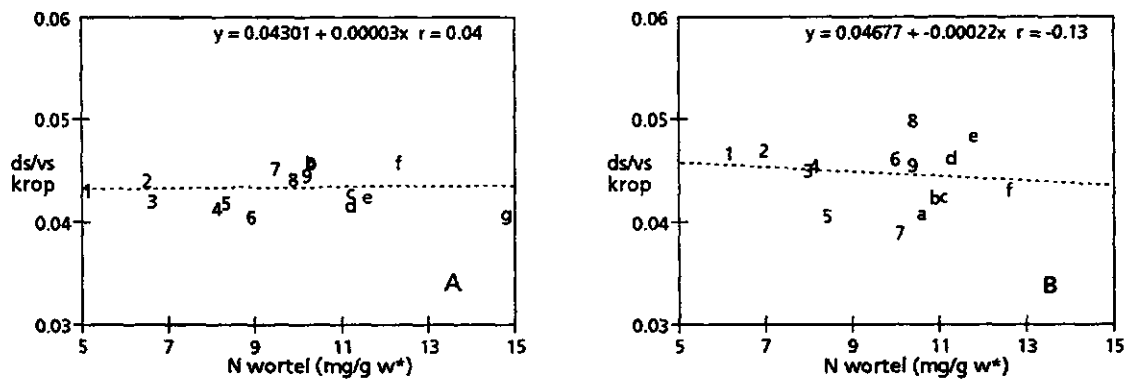


Figuur 3.8.14. Aandeel bladafval in de krop-opbrengst (%) van verschillende klassen kroppen (I, II en III; Kort en Lang) van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, na 21 dagen forceren bij 15°C na 7 weken bewaring bij 0°C.

Evenals in het eerste experiment was er geen relatie waar te nemen tussen het drogestofgehalte van de krop en het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.8.15). Aangezien ook het wortelgewicht niet afhankelijk was van het stikstofgehalte van de wortels (zie Fig. 3.8.7), gaf de relatieve verse- zowel als drogestof kropopbrengst (per g ds wortel) dezelfde relaties met het stikstofgehalte te zien als de verse kropopbrengst per wortel (vergelijk Fig. 3.8.9):

	1 week bewaring	7 weken bewaring
g ds/wortel	$y = 0,62259 + 0,02233 x ; r = 0,58$	$y = 0,56298 + 0,03166 x ; r = 0,52$
g ds/g ds	$y = 0,14822 + 0,00698 x ; r = 0,60$	$y = 0,13623 + 0,00698 x ; r = 0,49$

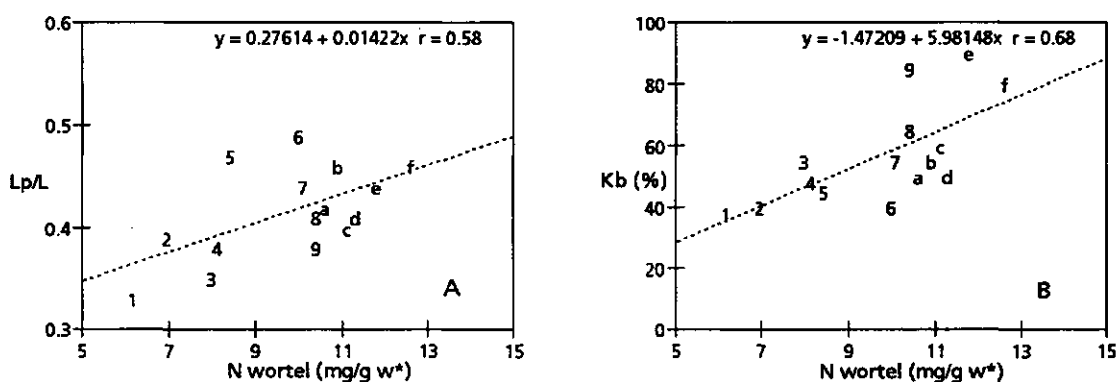
Omdat dit niet alleen gold voor de totale bruto kropopbrengst, maar ook voor de hoeveelheid bladafval en voor de opbrengst van de verschillende kwaliteitsklassen apart, worden deze resultaten alleen *per wortel* beschreven en niet ook nog *per g ds wortel*.



Figuur 3.8.15. Drogestofgehalte van kroppen van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, na forceren. A: 24 dagen bij 16°C na 1 week en B: 21 dagen bij 15°C na 7 weken bewaring bij 0°C



Daarnaast gaf ook de kropproductie uitgedrukt in aantal kroppen per kwaliteitsklasse hetzelfde beeld als de gewichtsopbrengst. De verschuiving van de kropopbrengst van korte naar lange kroppen en van klasse I naar klasse II en III kroppen bij een hoger stikstofgehalte van de wortel bij forceren na 7 weken bewaring (zie Fig. 3.8.11) werd ook weerspiegeld in een aantal metingen die aan de kroppen werden verricht.



Figuur 3.8.16. A: Relatieve pitlengte (Lp) van kroppen en B: percentage kroppen met bruine pit (Kb) van wortels met een variërend stikstofgehalte, afkomstig van witlofproducenten uit verschillende regio's van het land, na A: 24 dagen forceren bij 16°C na 1 week bewaring bij 0°C en B: 21 dagen forceren bij 15°C na 7 weken bewaring bij 0°C

Zo nam met een toenemend stikstofgehalte van de wortel niet alleen de kroplengte toe, maar werd ook de pitlengte groter en zelfs sterker dan de kroplengte zelf. Dit blijkt uit de toenemende verhouding van de pit- en kroplengte met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.8.16.A).

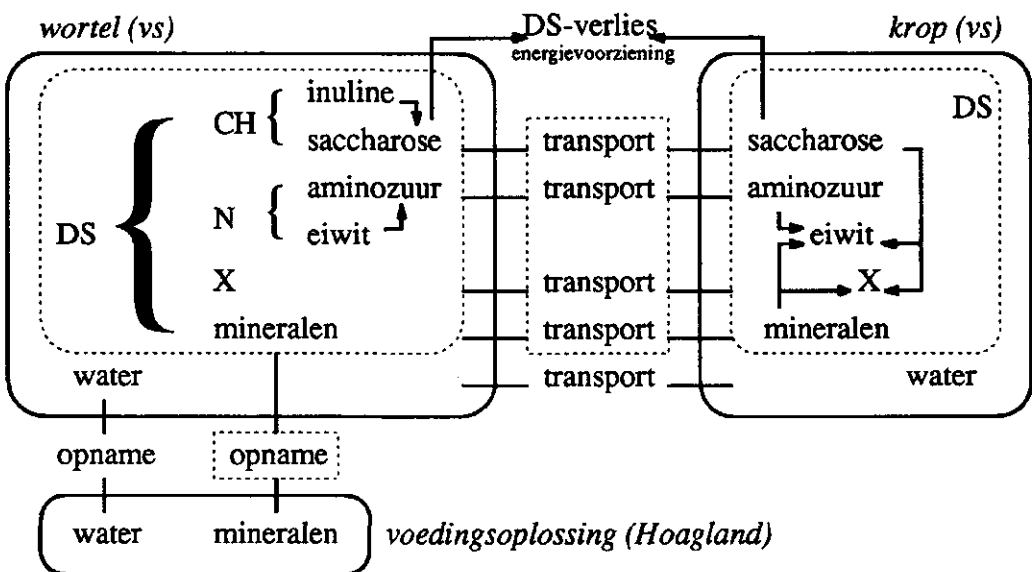
Naast een grotere pit vertoonden de kroppen ook meer bruine pit, wanneer de wortels een hoger stikstofgehalte hadden (Fig. 3.8.16.B). De invloed van het stikstofgehalte van de wortels op het aantal kroppen waarin bruine pit voorkwam was aanzienlijk, nl. gemiddeld 28% en 88% bij wortels met een stikstofgehalte van respectievelijk 5 en 15 mg N/g ds.

## 4. Conclusies en discussie

Het vorige hoofdstuk behandelde de resultaten van de verschillende experimenten in de volgorde waarin ze waren uitgevoerd. In de experimenten werd op verschillende manieren aandacht besteed aan de invloed van worteleigenschappen, de voorbehandeling en de forceeromstandigheden op het verloop van een aantal gehalten, processen en visuele kenmerken tijdens het forceren. De resultaten van de verschillende experimenten worden in dit hoofdstuk per onderwerp nader besproken, geïnterpreteerd en waar mogelijk van conclusies voorzien.

### 4.1. Algemeen

Tijdens forceren van de witlofwortel in het donker wordt een gesloten witte spruit gevormd, de zogenaamde krop. Er vindt transport plaats van drogestof en water vanuit de wortel naar de groeiende krop. Tegelijkertijd worden water en mineralen uit de voedingsoplossing opgenomen. Afgezien van deze opname is de kropgroei volledig afhankelijk van de reserves die zich in de wortel bevinden. Dit geldt niet alleen voor de bouwstoffen voor de krop, maar ook voor de energievoorziening. De mate waarin redistributie van drogestof plaatsvindt is afhankelijk van de beschikbaarheid van de verschillende stoffen in de wortel. De reservestoffen zijn over het algemeen in gebonden vorm in de wortel opgeslagen en als zodanig niet direct voor transport of ademhaling beschikbaar. Deze stoffen, o.a. koolhydraten en eiwitten, moeten eerst worden opgesplitst in bruikbare of transporteerbare stoffen. Hiervoor is een adequaat enzymstelsel nodig. Daarnaast is de redistributie afhankelijk van de transportcapaciteit voor de verschillende stoffen en de mogelijkheden om de getransporteerde stoffen te benutten voor de vorming van nieuw kropweefsel (Fig. 4.1).



Figuur 4.1. Schematische weergave van de afbraak-, opname-, transport- en syntheseprocessen tijdens forceren in wortel en krop. DS=drogestof, CH=koolhydraten, N=stikstof, X=overige DS

De snelheid waarmee de processen verlopen, die te maken hebben met afbraak, transport en synthese van stoffen, wordt sterk beïnvloed door de temperatuur. De capaciteit van deze processen wordt bepaald door de fysiologische toestand van de plant, d.w.z. van de penwortel én het groeipunt, bij aanvang van forceren.

Bij verschillende experimenten zijn worteleigenschappen, zoals de maat en het stikstofgehalte, als factor voor de kropgroei bestudeerd. Een andere factor was de duur van koude bewaring, die ook van invloed is op de toestand van het uitgangsmateriaal bij aanvang van het forceren.

#### **4.2. De kropgroei - versestof versus drogestof**

In het begin van het forceren schakelt de plant om vanuit een rusttoestand naar een fase van hergroei, en past zich aan de nieuwe omstandigheden aan met een hogere temperatuur en de aanwezigheid van water. Op dit moment is de kropgroei nog erg gering, maar neemt exponentieel toe, zoals goed te zien was in experiment 2 (Fig. 3.2.1). Na deze 'aanlooffase' blijft de kropgroei een tijd constant, de zogenaamde lineaire fase. Aan het eind van deze fase worden in de praktijk meestal de kroppen geoogst. In een latere fase tijdens forceren wordt de kropgroei echter steeds geringer, wat duidelijk zichtbaar is wanneer langer dan 30 dagen wordt geforceerd, zoals in experiment 3 (Fig. 3.3.1.B).

De drogestofproductie in de krop heeft eenzelfde sigmoïdaal verloop, maar is in de eerste fase van forceren relatief hoog en neemt na de lineaire fase sterker af dan de groei in versgewicht van de krop (Fig. 3.2.2). Dit ongelijke verloop in drogestof- en versestoftoename van de krop wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat in het begin van de kropgroei vooral veel celdeling plaatsvindt, waarvoor structureel materiaal aangemaakt moet worden, terwijl in een later stadium steeds meer sprake is van celstrekking. Dit heeft tot gevolg dat het drogestofgehalte van de krop afneemt gedurende het forceren (Fig. 4.2). De steeds geringere toename van de kropdrogestof in een laat stadium van forceren zet zich zo sterk voort dat uiteindelijk een maximum niveau bereikt wordt en er geen toename van kropdrogestof meer plaatsvindt (Fig. 3.3.1.A, Fig. 3.4.4 en Fig. 3.4.5). In tegenstelling tot de drogestofproductie blijft het versgewicht ook na lang forceren nog steeds toenemen (Fig. 3.3.1.B, Fig. 3.4.2 en Fig. 3.4.3), zodat het drogestofgehalte van de krop nog verder afneemt.

De oorzaak van het stoppen van de drogestofvorming in de krop kan zowel in de krop als in de wortel liggen. Tijdens de hergroei gaat de plant onder natuurlijke omstandigheden over van een vegetatieve naar een generatieve fase, wat evenwel bij forceren niet plaatsvindt als gevolg van het ontbreken van de hiervoor noodzakelijke lichtstimulus. Mogelijk vinden er wel hormonale veranderingen plaats die de kropontwikkeling reguleren: zo vindt er in een later stadium van forceren een sterke strekking van de pit plaats. Door een, al dan niet hormonaal gestuurde, verandering in de kropontwikkeling kan in een bepaald stadium een verminderde behoefte aan bouwstoffen ontstaan. Het kan echter ook zijn dat niet de behoefte aan bouwstoffen afneemt, maar dat door de hogere onderhoudskosten die de steeds groter wordende krop met zich meebrengt uiteindelijk de totale hoeveelheid uit de wortel aangevoerde stoffen voor respiratie in de krop wordt gebruikt.

Beperking van de kropgroei kan ook ontstaan door uitputting of een verminderde beschikbaarheid van de reserves in de wortel. Uitputting van de reserves is op zich niet erg waarschijnlijk, daar in het stadium waarin de kropdrogestof niet meer toeneemt, minder dan de helft van de hoofdzakelijk uit koolhydraten bestaande worteldrogestof is verbruikt. Het kan wel zijn dat de nog aanwezige wortelreserves minder snel beschikbaar komen voor transport naar de krop door een geringere enzymatische activiteit, of dat een of enkele voor de vorming van kropdrogestof essentiële stoffen, zoals bv. stikstofverbindingen, niet meer beschik-

baar zijn. De omzettingen en de redistributie van de inhoudstoffen van de wortel wordt in de volgende paragrafen nader toegelicht.

### *Externe factoren*

Zoals reeds eerder genoemd heeft de temperatuur tijdens forceren invloed op de snelheid waarmee processen verlopen. Een lagere temperatuur vermindert enzymatische activiteit, die bijvoorbeeld betrokken is bij de opsplitsing, de hydrolyse, van reservekoolhydraten en eiwitten in de wortel, en die eveneens betrokken is bij de synthese van structureel materiaal in de krop. Ook de respiratie en translocatie nemen af bij een lagere temperatuur. De drogestofproductie in de krop loopt dan ook continu achter wanneer geforceerd wordt bij een lagere temperatuur, maar uiteindelijk wordt wel eenzelfde maximum niveau bereikt (Fig. 3.3.1.A). Een kortere bewaarperiode van de wortel heeft hetzelfde effect op de kropproductie als forceren bij een lagere temperatuur. Bij een kortere bewaarperiode wordt het effect echter veroorzaakt door een achterstand in de afbraak van reservestoffen, daar dit proces reeds tijdens bewaring begint, en mogelijk ook door een geringere enzymatische activiteit tijdens forceren vanwege een achterstand in de synthese van het enzymesysteem.

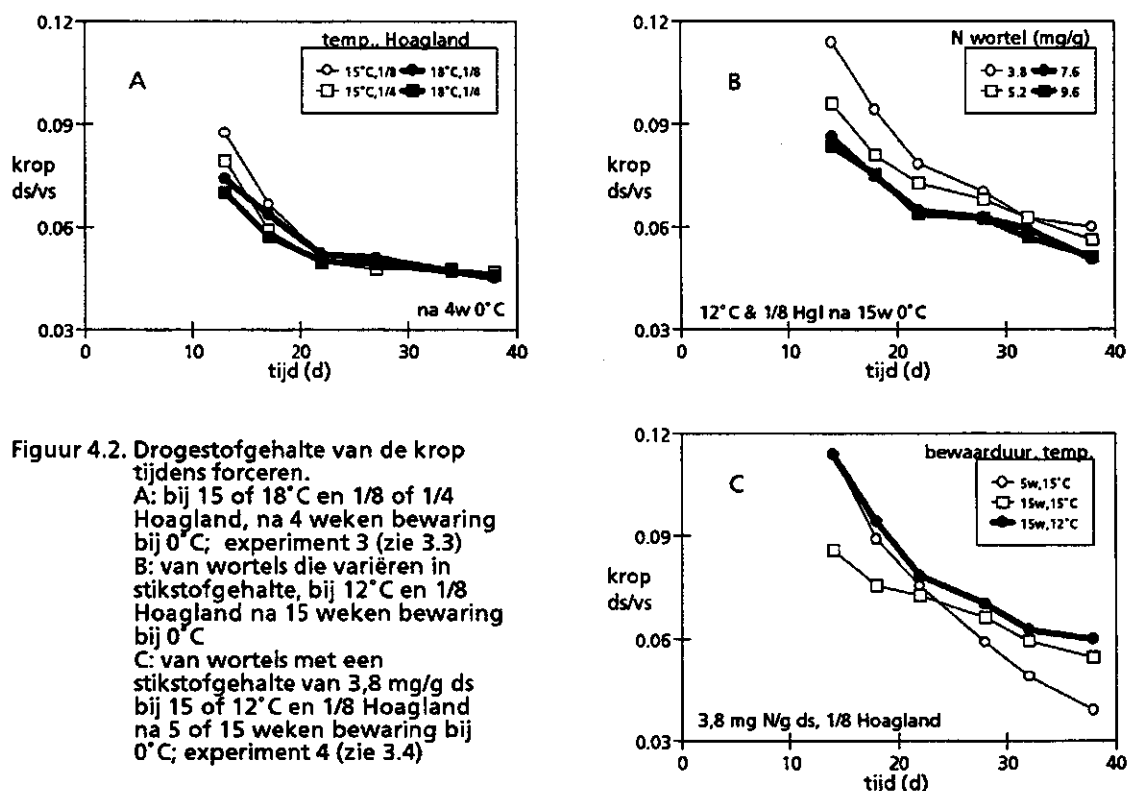
Het effect van de concentratie van de voedingsoplossing op de kropproductie is duidelijk anders. In het begin is de drogestofproductie nog vrijwel gelijk bij forceren op oplossingen van verschillende concentratie, maar neemt vervolgens sterker af bij een minder geconcentreerde oplossing. Er is echter geen faseverschil in kropgroei bij forceren op verschillende voedingsoplossingen en er wordt op hetzelfde moment een maximum drogestofproductie bereikt dat evenwel lager is bij een minder geconcentreerde oplossing (Fig. 3.3.1.A; 1/8 en 1/4 Hoagland). Het feit dat de maximaal bereikbare kropproductie beïnvloed kan worden door de concentratie van de voedingsoplossing doet vermoeden dat er in een laat stadium van forceren inderdaad tekorten ontstaan aan voor de kropvorming essentiële stoffen, die althans voor een deel vanuit de voedingsoplossing kunnen worden aangevuld. Hieraan zal in een latere paragraaf nader aandacht worden besteed.

Hoewel bij de versestofvorming geen maximum bereikt wordt is wel eenzelfde 'vertraagde' kropgroei bij een lagere forceertemperatuur, en eenzelfde 'verlaagde' kropproductie bij een minder geconcentreerde voedingsoplossing waar te nemen (Fig. 3.3.1.B).

Dat bij de invloed van factoren als bewaarduur, forceertemperatuur en de concentratie van de voedingsoplossing op de kropproductie geen wezenlijke verschillen bestaan tussen verse- en drogestofproductie betekent nog niet dat genoemde factoren geen effect hebben op het drogestofgehalte van de krop. Aangezien de drogestofproductie in de eerste (exponentiële) fase van het forceren sneller 'op gang komt', maar vervolgens wel geleidelijker toeneemt dan de versestofvorming, is het drogestofgehalte in het begin relatief hoog en neemt vervolgens geleidelijk af. Een vertraagde kropgroei door een lagere forceertemperatuur veroorzaakt een uitstel van dit dalen van het drogestofgehalte, daar de versestofvorming nog later op gang komt. Bij een lagere forceertemperatuur is het drogestofgehalte van de krop daardoor in het begin hoger, maar dit verschil verdwijnt naarmate het forceren vordert (Fig. 4.2.A). Dit is niet zo verwonderlijk daar bij een lagere forceertemperatuur de kropontwikkeling wel achter loopt, maar uiteindelijk toch eenzelfde krop gevormd wordt, zowel wat verse- als wat drogestof betreft (Fig. 3.3.1).

Bij forceren op verschillend geconcentreerde voedingsoplossingen is een vergelijkbaar verschil in verloop van het drogestofgehalte van de krop waar te nemen, namelijk een aanvankelijk hoger drogestofgehalte op een minder geconcentreerde oplossing. Ook hierbij verdwijnt het verschil naarmate het forceren vordert (Fig. 4.2.A). Dit is merkwaardig daar de concentratie van de voedingsoplossing i.t.t. de forceertemperatuur niet zozeer de kropontwikkeling maar meer de kropgroei lijkt te beïnvloeden ('verlaging' i.p.v. 'vertraging'). Toch

blijkt de concentratie van de voedingsoplossing in het begin van forceren een relatief grotere invloed op de verse- dan op de drogestofproductie te hebben (Fig. 3.3.1).



### Interne factoren

De kropproductie is niet voor alle wortels hetzelfde. Wortels met een laag stikstofgehalte produceren een kleinere krop. Het verschil in versgewicht van de krop tussen stikstofrijke en -arme wortels is al in een vroeg stadium van forceren zichtbaar. Dit wijkt duidelijk af van het effect dat verkregen wordt door een verlaging van de concentratie van de voedingsoplossing. Het lijkt er echter ook niet op dat er bij stikstofarme wortels sprake is van een 'vertraagde' kropproductie, zoals dat bij een lagere forceertemperatuur optreedt, daar in alle experimenten de kropproductie ook na lang forceren lager blijft dan bij stikstofrijke wortels. Ook het verloop van de kropproductie wijkt niet duidelijk af (Fig. 3.4.2). Bovendien kon bij alle wortels een versnelde verse kropproductie na een langere bewaring worden gecompenseerd met eenzelfde verlaging van de forceertemperatuur.

De drogestofproductie in de krop is ook al in een vrij vroeg stadium van forceren lager bij stikstofarme dan bij -rijke wortels, hoewel de verschillen geringer zijn dan in de versekropproductie. De drogestofproductie verloopt bij alle wortels parallel, wat goed te zien is aan het moment waarop het maximum bereikt wordt (Fig. 3.4.5). Ook deze bereikte maximum drogestofproductie is aanzienlijk lager bij stikstofarme dan -rijke wortels. Dit betekent dat al bij aanvang van forceren de hoeveelheid beschikbare reservestoffen in stikstofarme wortels geringer is dan in stikstofrijke wortels, wat veroorzaakt kan zijn door een geringere enzymatische activiteit. Dat er ook na langer forceren een verschil in drogestofproductie blijft bestaan en er dus een lagere maximum drogestofproductie wordt bereikt bij stikstofarme wortels, is het gevolg van een geringere beschikbaarheid van de reservestoffen in de wortel. De

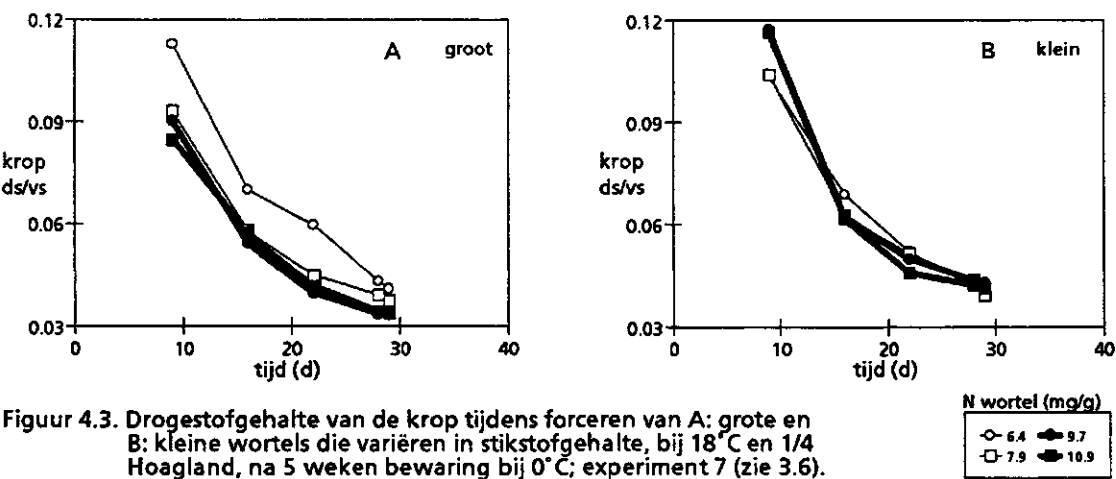
invloed van het stikstofgehalte van de wortel op de kropproductie is overigens niet hetzelfde voor de verse- en de drogestofproductie, waardoor bij stikstofarme wortels niet alleen kleinere kroppen worden gevormd, maar deze kroppen ook een hoger drogestofgehalte hebben (Fig. 4.2.B). Hierbij moet nog wel opgemerkt worden dat de kropproductie niet blijft toenemen naarmate het stikstofgehalte van de wortel verder toeneemt; evenmin blijft het drogestofgehalte van de krop afnemen. Er was geen verschil in drogestofgehalte en productie van de krop waar te nemen tussen wortels met een stikstofgehalte hoger dan 7,5 mg/g ds.

Al eerder is vermeld dat een kortere bewaarduur van de wortel een vergelijkbare invloed op de kropproductie heeft als een lagere forceertemperatuur, namelijk een vertraging van de kropontwikkeling die uiteindelijk toch resulteert in eenzelfde kropproductie. Dit geldt eveneens zowel voor verse- als voor drogestofproductie. Toch is de invloed van de bewaarduur van de wortel niet hetzelfde als van de forceertemperatuur. Dit is belangrijk, daar in de praktijk een lagere forceertemperatuur wordt toegepast ter compensatie van de snellere kropontwikkeling bij langer bewaarde wortels. Een (bepaalde) verlaging van de forceertemperatuur bij lang bewaarde wortels heeft inderdaad tot gevolg dat het kropversgewicht gedurende de gehele forceerperiode gelijk is aan dat van kort bewaarde wortels.

Opmerkelijk is echter dat bij stikstofarme wortels de drogestofproductie tijdens forceren na een langere bewaring een hoger maximum bereikt dan na kort bewaren. Dit betekent dat kroppen worden verkregen met eenzelfde versgewicht, maar met een hoger drogestofgehalte (Fig. 4.2.C). Verlaging van de forceertemperatuur heeft daarentegen geen effect op de maximum drogestofproductie, noch op het drogestofgehalte van de krop. Bij stikstofrijke wortels worden na lang bewaren wel kroppen verkregen met hetzelfde versgewicht en drogestofgehalte als na kort bewaren.

Een ander aspect van de wortel dat invloed heeft op de kropvorming is de wortelmaat. Grote wortels produceren in absolute zin een grotere krop dan kleine wortels, maar deze verschillen zijn in het begin van forceren nog nauwelijks aanwezig en pas in een later stadium blijven de kroppen van kleine wortels achter in hun groei (Fig. 3.2.4). Deze verschillen gelden voor zowel vers- als drooggewicht van de krop. Kleine en grote wortels wijken in hun stikstofgehalte niet van elkaar af en de gelijke kropgroei in het begin van forceren doet vermoeden dat de beschikbaarheid van de reservestoffen bij aanvang van forceren gelijk is. De totale hoeveelheid reservestoffen is bij kleine wortels echter geringer wat na langer forceren een beperking van de kropgroei oplevert. Bij kleine noch bij grote wortels heeft de concentratie van de voedingsoplossing invloed op de kropgroei in het begin van forceren. In een later stadium worden hoofdzakelijk de grote wortels in hun kropgroei beperkt door een minder geconcentreerde voedingsoplossing. Hoewel kleine wortels een geringere 'bulk' aan reservestoffen hebben, d.w.z. koolhydraten, wordt bij grote wortels de kropgroei blijkbaar beperkt door een tekort aan mineralen. Relatief gezien, d.w.z. per gram drogestof van de wortel, produceren kleine wortels meer kropdrogestof dan grote wortels. Dit geldt eveneens, maar in veel mindere mate voor de vorming van kropversestof. Dit betekent dat het drogestofgehalte van de krop hoger is bij kleine dan bij grote wortels (Fig. 4.3).

Er treedt bovendien nog een ander verschil op in de kropproductie tussen kleine en grote wortels, namelijk wat betreft de invloed van het stikstofgehalte van de wortels. In overeenstemming met de hiervoor beschreven invloed van het stikstofgehalte van de wortel is bij zowel kleine als grote wortels de verse- en drogestofproductie van de krop geringer bij een laag stikstofgehalte van de wortel. Bij grote wortels geldt bovendien dat er geen verschillen in kropproductie zijn waar te nemen wanneer het stikstofgehalte hoger is dan 7,5 mg/g ds, maar bij kleine wortels is de kropproductie ook nog lager bij een stikstofgehalte van 7,9 dan bij een stikstofgehalte van 9,7 mg/g ds (Fig. 3.6.3 en Fig. 3.6.4).



Figuur 4.3. Drogestofgehalte van de krop tijdens forceren van A: grote en B: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte, bij 18°C en 1/4 Hoagland, na 5 weken bewaring bij 0°C; experiment 7 (zie 3.6).

Ook het drogestofgehalte van de krop is, conform het eerder beschreven effect van het stikstofgehalte van de wortel, hoger bij grote wortels met een stikstofgehalte beneden de 7,5 mg/g ds dan bij stikstofrijke wortels (Fig. 4.3.A). Verwacht zou worden dat bij kleine wortels het drogestofgehalte van de krop ook bij wortels met een stikstofgehalte van 7,9 nog hoger zou zijn. In tegenstelling hiermee is het drogestofgehalte van de krop juist bij alle kleine wortels hetzelfde (Fig. 4.3.B).

### 4.3. De redistributie van drogestof

Voor de vorming van de krop is het van belang hoeveel drogestof naar de krop getransporteerd kan worden en in welke mate dit voor de synthese van structureel materiaal gebruikt kan worden. Zoals reeds eerder opgemerkt, is de plant, afgezien van opname van mineralen uit de voedingsoplossing, volledig afhankelijk van de reserves in de wortel. In de experimenten is daarom ook gekeken naar de afname van drogestof uit de wortel tijdens forceren. De produktie van kropdrogestof betreft slechts een deel hiervan, aangezien de wortelreserves ook gebruikt worden voor de levering van energie voor de groei- en onderhoudsprocessen in de plant. De redistributie van drogestof betreft het transport van reservestoffen vanuit de wortel naar de groeiende krop. Het is echter onbekend op welke plaats drogestof in de respiratie verbruikt wordt. Een deel van de respiratie zal in de wortel en een deel in de krop plaatsvinden, d.w.z. dat de werkelijke redistributie groter zal zijn geweest dan de drogestofproduktie van de krop, maar kleiner dan de drogestofafname in de wortel. Om deze reden wordt bij de bespreking van de drogestofredistributie geen kwantitatieve uitspraak over de redistributie zelf gedaan, maar worden hierbij zowel de afname in de wortel als de produktie in de krop betrokken.

Afgezien van het feit dat de toename van drogestof in de krop veel geringer is dan de afname van drogestof in de wortel, verlopen deze processen ook niet proportioneel. In het begin van forceren wordt een relatief groot deel van de drogestof die uit de wortel verdwijnt in de krop teruggevonden, d.w.z. dat het rendement van redistributie hoog is. Naarmate langer wordt geforceerd neemt de produktie van kropdrogestof geleidelijk af, terwijl de afname van kropdrogestof vrijwel ongewijzigd voortzet (Fig. 3.5.5 en Fig. 3.6.5). Hierdoor wordt het rendement van de redistributie tijdens forceren steeds geringer (Fig. 3.4.7, Fig. 3.5.6 en Fig. 3.6.7). Naarmate het forceren vordert neemt het gebruik van drogestof voor de kropvorming dus af en wordt een steeds groter deel verbruikt in de respiratie. Dit betekent dat de respiratie waarschijnlijk voor het grootste deel in de krop plaatsvindt. Het totale drooggewicht van de plant dat moet worden onderhouden, dus inclusief de wortel, neemt namelijk tijdens forceren juist af doordat er worteldrogestof verbruikt wordt. De energiekosten voor het onderhoud van de krop nemen daarentegen toe naarmate de krop groter wordt. Zelfs wanneer de respiratie in de wortel even groot zou zijn als in de krop zou het totale drogestofverbruik gedurende forceren behoren af te nemen. Niet alle drogestof heeft even hoge onderhoudskosten en het is aannemelijk dat de reservestoffen, zoals die zijn opgeslagen in de wortel, veel minder energie verbruiken dan wanneer deze stoffen zijn afgebroken en omgezet in structureel en, sterker nog, metabolisch actief celmateriaal.

Het lijkt er dus op dat de geleidelijke afname van de kropgroei tijdens forceren een gevolg is van de grotere energiebehoefte van de plant, daar de gewichtsafname van de wortel vrijwel constant blijft. Een andere optie is dat de afbraak van reservestoffen, wanneer deze eenmaal is gestart, niet meer te reguleren is, zodat bij een afnemende behoefte aan bouwstoffen voor de kropgroei op een alternatieve wijze de overtollige en osmotisch actieve afbraakprodukten verwijderd moeten worden. Toch blijkt ook de afname in de wortel uiteindelijk geringer te worden, wanneer de drogestofproduktie van de krop zijn maximum bereikt (Fig. 3.4.6). Of er is hier wél sprake van een terugkoppeling van een beperking in de kropgroei op de redistributie van reservestoffen, of het is een gevolg van een verminderde beschikbaarheid van de reserves zelf. Het is moeilijk deze twee mogelijkheden van elkaar te onderscheiden.

Als het echter om een beperking van de kropgroei gaat, die wordt teruggekoppeld naar de redistributie van de reserves, dan zou verwacht mogen worden dat een externe factor als de concentratie van de voedingsoplossing hierop geen invloed heeft en dat de kropgroei niet of weinig afhankelijk is van de fysiologische toestand van de wortel. Er is echter wel een invloed, blijkens de verschillen in kropproduktie bij wortels die variëren in stikstofgehalte of



maat en de invloed die de concentratie van de voedingsoplossing heeft op de kropproductie bij deze wortels.

### *Stikstofgehalte*

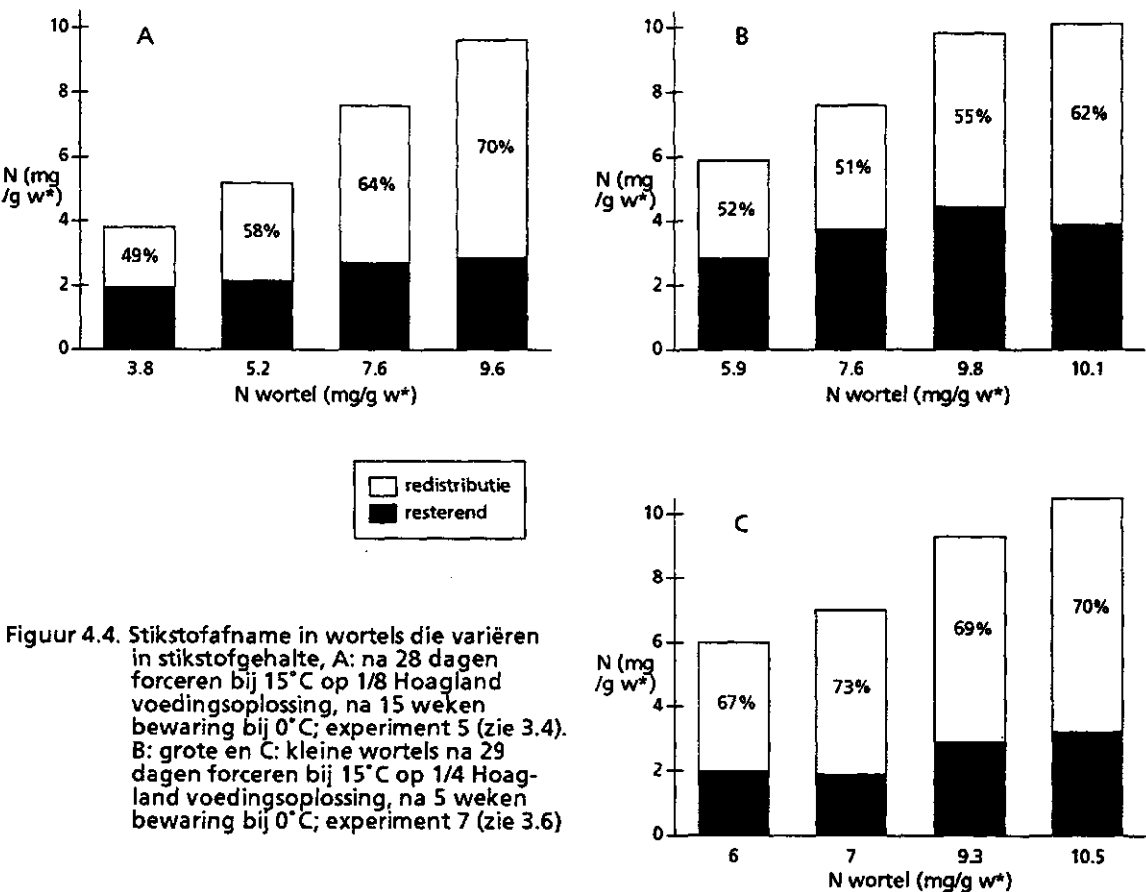
Al in een vroeg stadium tijdens forceren was de drogestofproductie van de krop duidelijk geringer bij stikstofarme dan bij stikstofrijke wortels (Fig. 3.4.5 en Fig. 3.6.4). Het verschil in drogestofproductie werd vervolgens alleen nog maar groter, zodat de maximum drogestofproductie, die min of meer op hetzelfde moment bereikt werd, aanzienlijk hoger was bij stikstofrijke wortels. Ook de afname van drogestof uit de wortel was continu geringer bij stikstofarme dan bij stikstofrijke wortels.

Waarom is de beperkte kropgroei bij stikstofarme wortels te wijten? Allereerst blijkt de redistributie van stikstofverbindingen uit de wortel proportioneel te zijn aan het stikstofgehalte van de wortel. Op het moment dat de maximum drogestofproductie bereikt wordt, is een groot deel van de oorspronkelijk in de wortel aanwezige stikstof geredistribueerd. Nu is echter de hoeveelheid geredistribueerde stikstof niet meer proportioneel aan het stikstofgehalte, maar is zowel relatief als absoluut meer stikstof geredistribueerd uit stikstofrijke dan uit -arme wortels (Fig. 4.4.A). Lang niet alle wortelstikstof zal voor redistributie bestemde reserve-eiwitten betreffen, maar voor een deel ook bv. structurele eiwitten en enzymen. De hoeveelheid resterende stikstof in de wortel na forceren verschilt nauwelijks tussen stikstofarme en -rijke wortels. Dat de hoeveelheid resterende stikstof toch iets groter is in stikstofrijke dan in -arme wortels zou verklaard kunnen worden door een grotere hoeveelheid enzymen in deze wortels. Dit doet vermoeden dat de resterende stikstof de voor de wortel essentiële stikstofverbindingen betreft en de voorraad reserve-eiwitten is uitgeput. In dat geval is de hoeveelheid beschikbare stikstof een beperkende factor voor de kropgroei. Deze mogelijkheid wordt ondersteund door het feit dat vlak voor het bereiken van de maximum kropproductie reeds meer dan 95% van de totale hoeveelheid tijdens bewaring en forceren vrijgekomen aminozuren is geredistribueerd (Tabel 3.4.1). Daarna is er nauwelijks meer sprake van stikstofafname in de wortel (Fig. 3.4.10.B; 22 dagen en langer), noch van drogestofproductie.

Bij deze regulerende rol van de stikstofreserves voor de kropgroei kunnen wel vraagtekens gezet worden. Bijvoorbeeld met betrekking tot de mogelijkheid om de beperkte stikstofvoorziening vanuit de wortelreserves aan te vullen met uit de voedingsoplossing opgenomen stikstof. Bij alle wortels vindt vanaf het begin van forceren opname van stikstof uit de voedingsoplossing plaats, maar de opname neemt niet toe nadat de stikstofredistributie uit de wortel is gestopt. In tegendeel. Het is onwaarschijnlijk dat dit een gevolg is van een beperkte opnamecapaciteit, daar bij stikstofarme wortels de opname wel veel hoger is dan bij stikstofrijke wortels. Bovendien is de opname door stikstofarme wortels aanzienlijk hoger wanneer geforceerd wordt op een meer geconcentreerde voedingsoplossing (Fig. 3.4.11, Fig. 3.4.12 en Fig. 3.6.12). Deze hogere opname door stikstofarme wortels heeft inderdaad tot gevolg dat de kropproductie groter wordt, maar er wordt toch een maximum bereikt. Kort gezegd kan de voedingsoplossing tijdens forceren wel in zekere mate als aanvullende stikstofbron dienen voor stikstofarme wortels, maar niet voor stikstofrijke wortels en ook niet meer wanneer de stikstofreserves in de wortel zijn uitgeput. Dit wijst op andere beperkende factoren. Tijdens forceren is de koolhydraatafname ruim twee maal zo groot in stikstofrijke als in -arme wortels. Het grotere stikstofgehalte van de wortel en de grotere hoeveelheid stikstof die naar de krop wordt geredistribueerd, brengen hogere energiekosten met zich mee. Daardoor wordt een groter deel van de beschikbare koolhydraten verbruikt voor respiratie, wat ten koste gaat van de drogestofproductie van de krop. Hierdoor wordt het stikstofgehalte van de krop veel hoger dan bij stikstofarme wortels. Als bij stikstofarme wortels meer stikstof uit de voe-

dingsoplossing kan worden opgenomen heeft dit niet tot gevolg dat het stikstofgehalte van de krop hoger wordt, maar dat er meer kropdrogestof wordt geproduceerd, d.w.z. dat meer koolhydraten worden gebruikt. Dit gebeurt bij stikstofrijke wortels niet. Hoewel de beschikbaarheid en ook de afname van koolhydraten in stikstofrijke wortels veel hoger is, lijkt het er op dat het toch een beperking is voor de kropproductie, terwijl bij stikstofarme wortels de beschikbaarheid van stikstof juist de beperkende factor is. Ook bij de afname en het uiteindelijk ontbreken van kropgroei in een later stadium van forceren speelt de beschikbaarheid van koolhydraten een rol.

Op het moment dat de stikstofreserves in de wortel uitgeput raken, wordt de omzetting van de reservekoolhydraten in voor transport en respiratie beschikbaar sacharose minder (Fig. 3.4.20.A). Dit wordt niet veroorzaakt door een gelijktijdige uitputting van de koolhydraatreserves. De koolhydraatreserves zijn in stikstofrijke wortels op dat moment inderdaad al aardig geslonken, maar in stikstofarme wortels is nog steeds meer dan 75% aanwezig (Tabel 3.4.2). Desondanks begint de omzetting van reservekoolhydraten voor stikstofrijke en -arme wortels op hetzelfde moment af te nemen, hoewel wel in iets geringere mate in stikstofarme wortels. Ondanks het ontbreken van kropgroei neemt de hoeveelheid sacharose in de wortel nu steeds verder af, wat betekent dat de omzetting die nog plaats heeft inmiddels zelfs geringer is dan de hoeveelheid die gebruikt wordt voor de energievoorziening (Fig. 3.4.22.B). Deze verandering in de beschikbaarheid van koolhydraten door een geringere omzettingssnelheid kan een terugkoppeling zijn van de uitputting van de stikstofreserves, mogelijk doordat in dit stadium niet alleen meer reserve-eiwitten worden afgebroken, maar ook de enzymen. Het valt te betwijfelen of het een terugkoppeling vanuit de krop betreft, daar de stikstofopname nog wel kropgroei mogelijk maakt, in elk geval bij stikstofarme wortels.



Figuur 4.4. Stikstofafname in wortels die variëren in stikstofgehalte, A: na 28 dagen forceren bij 15°C op 1/8 Hoagland voedingsooplossing, na 15 weken bewaring bij 0°C; experiment 5 (zie 3.4). B: grote en C: kleine wortels na 29 dagen forceren bij 15°C op 1/4 Hoagland voedingsooplossing, na 5 weken bewaring bij 0°C; experiment 7 (zie 3.6)

Niet alleen is dus de drogestofproduktie groter bij stikstofrijke wortels, maar ook en vooral de stikstofredistributie. Dit, en het hogere stikstofgehalte in de wortel zelf, brengt hogere energiekosten met zich mee voor transport, synthese en onderhoud. Hierdoor is reeds vanaf het begin van forceren het rendement van drogestofredistributie aanzienlijk lager bij stikstofrijke dan bij stikstofarme wortels. Na een korte bewaring van de wortel is het rendement bij forceren van stikstofarme wortels nog ruim 60%, terwijl dat bij stikstofrijke wortels minder is dan 50% (Fig. 3.4.8 en Fig. 3.6.8). Bij een hogere forceertemperatuur is het rendement wat lager, maar het verschil tussen stikstofrijke en arme wortels blijft hetzelfde. Na een langere bewaarperiode van de wortels is het verschil in rendement tussen stikstofarme en -rijke wortels daarentegen groter. Hoewel het rendement nog steeds bijna 60% is bij stikstofarme wortels, is dat bij stikstofrijke wortels gedaald tot minder dan 35%. Het verschil in kropproductie is na langer forceren echter geringer tussen stikstofrijke en -arme wortels. Daarentegen is het verschil in stikstofredistributie wel groter, wat het grotere verschil in rendement zou kunnen verklaren. De verschillen in rendement zijn echter zo groot dat mogelijk nog andere factoren dan alleen de stikstofredistributie het rendement bepalen.

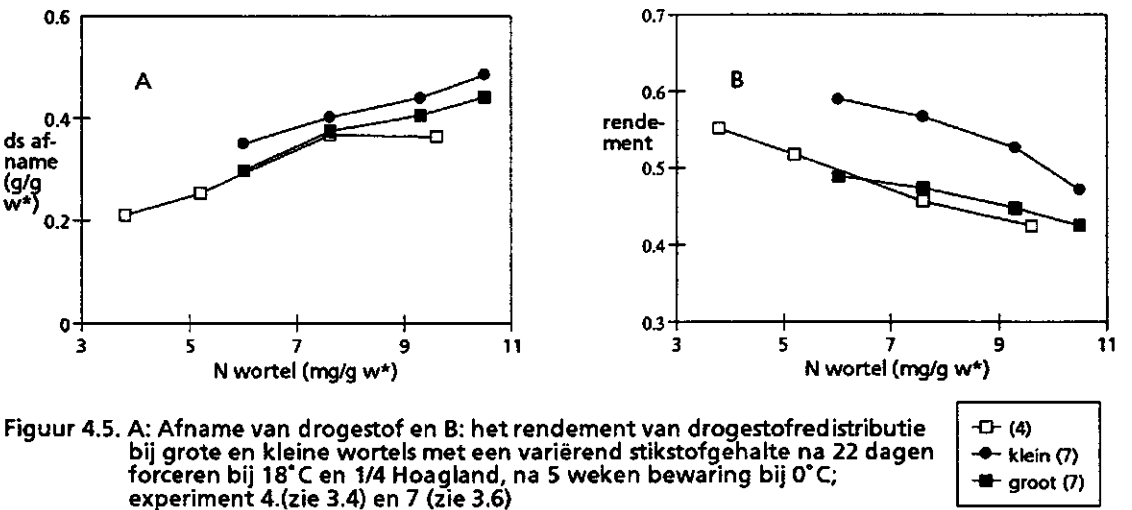
### *Wortelmaat*

De drogestofafname in kleine wortels is in het begin van forceren even groot als in grote wortels, maar blijft daarna duidelijk achter. Dit kan betekenen dat kleine en grote wortels zich in principe in eenzelfde fysiologische toestand bevinden, maar dat bij kleine wortels alleen minder reserves zijn opgeslagen. Evenals de drogestofproduktie van de krop is de relatieve afname van drogestof in de wortel niet alleen in het begin, maar ook later tijdens forceren altijd groter bij kleine dan bij grote wortels. Toch is het verschil in de drogestofafname tussen kleine en grote wortels minder groot dan het verschil in drogestofproduktie, wat inhoudt dat het rendement van de redistributie groter is bij kleine wortels (Fig. 3.6.8.B). Dit ondanks de relatief grotere kropproductie die hogere onderhoudskosten met zich mee zou kunnen brengen. Daarbij komt dat, hoewel het stikstofgehalte in kleine en grote wortels hetzelfde is, er relatief meer stikstof uit de kleine wortels geredistribueerd wordt. Vanwege de grotere kropproductie is het stikstofgehalte van de krop daardoor vrijwel gelijk bij kleine en grote wortels, zodat hierin ook geen verklaring kan liggen voor het hogere rendement bij kleine wortels. Een mogelijke verklaring is dat binnen in de zeer compacte penwortel gemakkelijk een zuurstofgebrek kan ontstaan waardoor de respiratie minder efficiënt verloopt en er dus meer koolhydraten moeten worden verademd voor de energievoorziening van de wortel. Aangezien kleine wortels niet zozeer in lengte maar juist in diameter verschillen van grote wortels, zou anaërobie hier minder makkelijk kunnen optreden, waardoor er minder drogestofverliezen optreden en het rendement hoger wordt.

Dit verschijnsel zou ook een rol kunnen spelen bij de verschillen in rendement tussen stikstofrijke en -arme wortels. Hoewel deze wortels even dik zijn, is de energiebehoefte in stikstofrijke wortels groter, gerelateerd aan de grotere hoeveelheid stikstofverbindingen die onderhouden moeten worden en het grotere transport van inhoudstoffen vanuit de wortel naar de krop. Hierdoor is een grotere respiratie in de wortel nodig, waardoor er ook eerder een zuurstofgebrek kan ontstaan. Naarmate het forceren vordert, worden de verschillen in energiebehoefte tussen stikstofrijke en -arme wortels steeds geringer, daar er veel meer stikstofverbindingen en koolhydraten zijn verdwenen uit stikstofrijke dan uit -arme wortels. De verschillen in rendement worden eveneens geringer naarmate langer wordt geforceerd (Fig. 3.4.7 en Fig. 3.6.7).

De verschillen in drogestofafname, -produktie en rendement tussen stikstofrijke en -arme wortels komen, overigens in dezelfde mate, zowel bij kleine als bij grote wortels voor. Dit is duidelijk te zien wanneer de resultaten van experiment 7, waarin onderscheid werd gemaakt

tussen grote en kleine wortels met verschillende stikstofgehalten, worden vergeleken met de resultaten van experiment 4 bij dezelfde bewaarduur en forceertemperatuur. De groep 'grote' wortels in experiment 7 had eenzelfde gemiddeld drooggewicht van 50 g als de wortels in experiment 4, terwijl de kleine wortels een gemiddeld gewicht van 30 g drogestof hadden. De drogestofafname in de grote wortels (g/g wortel) ligt op dezelfde lijn als in de wortels uit experiment 4 (Fig. 4.5.A). In kleine wortels is de drogestofafname iets hoger, maar de relatie met het stikstofgehalte loopt parallel aan die van grote wortels. Bij de kleine wortels is de drogestofproduktie per g wortel ruim 30% groter, zodat het rendement van redistributie veel hoger is dan bij de grote wortels en dan de wortels in experiment 4 (Fig. 4.5.B). Het negatieve verband tussen het rendement en het stikstofgehalte blijft daarbij echter hetzelfde. Het verschil in rendement tussen de grote en de kleine wortels is bijna even groot als het verschil tussen wortels met een stikstofgehalte van 3,8 en 10,5 mg/g ds.



#### 4.4. De conversies van de drogestof

De hoeveelheid in het begin aanwezige drogestof in de wortel hoeft niet direct bepalend te zijn voor de beschikbaarheid van drogestof in de wortel gedurende forceren. Hierbij speelt o.a. de samenstelling van de drogestof een belangrijke rol. Voordat de reserves in de wortel kunnen worden gebruikt moeten de verschillende bestanddelen, zoals koolhydraten en stikstofverbindingen, worden omgezet in een bruikbare vorm. Naast het gehalte aan koolhydraat- en eiwitreserves zijn de mate waarin deze stoffen bij de aanvang van forceren zijn afgebroken en de snelheid waarmee deze afbraakprocessen zich tijdens forceren voortzetten, bepalend voor de beschikbaarheid van de stoffen voor transport en metabole activiteit.

##### *Koolhydraten*

Het grootste gedeelte van de drogestofredistributie betreft de redistributie van koolhydraten. Daarbij komt nog dat in de eerder genoemde energiebehoefte ook volledig moet worden voorzien door respiratie van koolhydraten. Zodoende is de kropgroei in sterke mate afhankelijk van de beschikbaarheid van de koolhydraatreserves in de wortel. Het grootste deel van de worteldrogestof bestaat uit koolhydraten, met name langketenige fructanen (inuline). Het gehalte aan koolhydraten in de wortel blijkt echter ook niet voor alle wortels hetzelfde te zijn, en is onder meer afhankelijk van het stikstofgehalte. De drogestof van stikstofarme wortels bestaat voor circa 85% uit koolhydraten en van stikstofrijke wortels voor slechts 65%, terwijl het eiwitgehalte respectievelijk 2,5% en 6% bedraagt.

Ondanks het lagere koolhydraatgehalte is na 5 weken koude bewaring in stikstofrijke wortels al meer fructaan afgebroken en meer sacharose gevormd dan in stikstofarme wortels. Na 15 weken bewaring zijn deze verschillen nog veel extremer. De grotere afbraak van fructaan bij stikstofrijke wortels kan te maken hebben met een hogere activiteit van het enzymstelsel. Wanneer alleen gekeken wordt naar lange fructaanketens, meer dan 8 hexose-eenheden, dan blijkt dat de afbraaksnelheid hiervan hetzelfde is voor stikstofrijke en -arme wortels (Fig. 3.4.18.A). De hoeveelheid korte fructaanketens neemt bij alle wortels juist toe in plaats van af. Deze toename van de oligofructanen, 3 tot 8 hexose-eenheden, is groter bij stikstofarme dan bij -rijke wortels (Fig. 3.4.18.B).

De afbraak van fructaan vindt plaats door herhaaldelijke afsplitsing van een fructose, waardoor een telkens kortere keten overblijft en uiteindelijk een sacharose molecuul. Een mogelijke verklaring voor de toename van oligofructanen zou kunnen zijn dat de afbraak van de grote hoeveelheid polyfructanen meer oligofructanen oplevert dan van de veel geringere hoeveelheid oligofructanen worden afgebroken. Een grotere gemiddelde ketenlengte van de polyfructanen en een hogere enzymatische activiteit bij stikstofrijke wortels zou in dat geval de oorzaak kunnen zijn van de geringere toename van de oligofructanen en de grotere hoeveelheid vrijgekomen hexosen. Deze redenering impliceert echter dat wanneer langer wordt geforceerd, en de poly-/oligofructaan ratio afneemt, de toename van oligofructaan steeds minder zou worden. Het tegendeel hiervan blijkt waar te zijn. Bij stikstofarme wortels is de oligofructaan toename groter na 15 dan na 5 weken bewaring.

Een andere mogelijkheid is dat er meerdere enzymen betrokken zijn bij de afbraak van fructaan, namelijk een enzym dat specifiek lange en een enzym dat specifiek korte ketens afbreekt. In dat geval zou de enzymatische activiteit voor lange ketens hetzelfde zijn in stikstofrijke en -arme wortels. De enzymatische activiteit voor korte ketens zou onder de condities van koude bewaring erg gering zijn, maar wel iets hoger voor stikstofrijke wortels. Tijdens forceren vindt er wel degelijk afbraak van oligofructanen plaats, maar nog steeds veel minder bij stikstofarme dan bij -rijke wortels. Ook de afbraak van polyfructanen is nu

groter bij stikstofrijke wortels. De scheiding die gemaakt is tussen poly- en oligofructanen is willekeurig, wat betekent dat de grens van 9 hexose-eenheden niet per se de grens voor substraat van de twee enzymsystemen hoeft te zijn. Hier niet getoonde met de HPLC verkregen chromatogrammen vertonen een regelmatige opeenvolging van fructaanpieken boven 12 hexose-eenheden en een regelmatige opeenvolging van fructaanpieken met een ander patroon bij minder dan 12 hexose-eenheden.

Als gevolg van de verschillen in fructaan afbraak tijdens bewaring komt er meer fructose vrij bij stikstofrijke dan bij -arme wortels. Een deel van de fructose wordt geconverteerd tot glucose, zodat sacharose gevormd kan worden. Ook deze sacharosevorming was groter bij stikstofrijke dan bij -arme wortels en het verschil was groter dan het verschil in vrijgekomen fructose (Fig. 3.4.19). Dit betekent dat ook de sacharose synthetase activiteit hoger was in stikstofrijke wortels. Evenals de afbraak van fructaan neemt tijdens forceren ook de synthese van sacharose enorm toe.

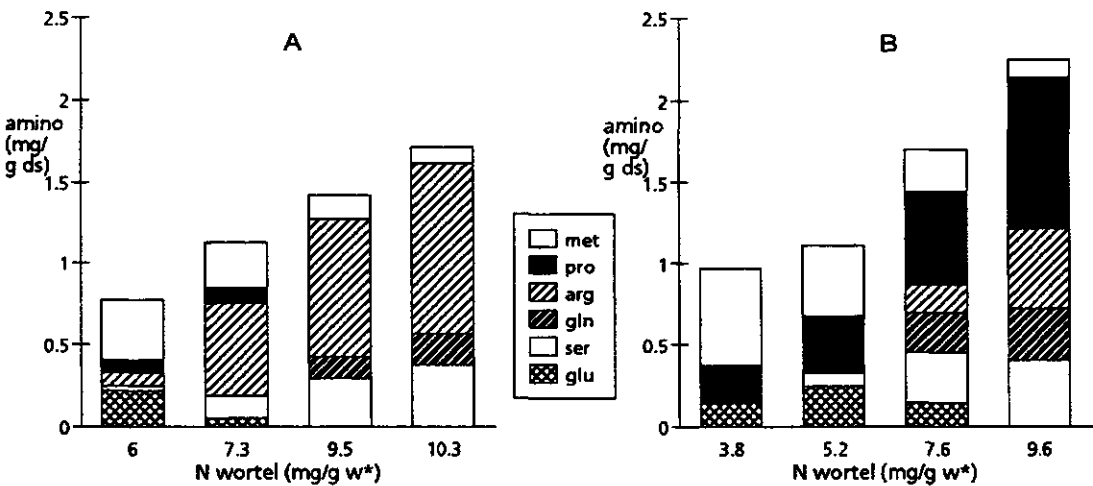
In de vorige paragraaf is reeds ter sprake gekomen dat op het moment waarop de kropproductie een maximum bereikt de afname van koolhydraten in de wortel aanzienlijk vermindert (Fig. 3.4.21.A). Dit is niet het gevolg van een uitputting van de koolhydraatreserves, maar van een geringe beschikbaarheid van deze reserves. Enerzijds neemt de depolymerisatie van fructanen af, waardoor er minder fructose vrij komt (Fig. 3.4.20). Anderzijds stagneert de vorming van sacharose, zodat ophoping van fructose en ook glucose plaatsvindt (Fig. 3.4.22 & 23). Dit heeft vermoedelijk te maken met een afnemende activiteit van het enzymstelsel. Niet alleen van de enzymen die betrokken zijn bij de afbraak van fructanen, maar ook van het sacharose synthetase. De afnemende enzymatische activiteit kan het gevolg zijn van een uitputting van de eiwitreserves in de wortel, waardoor ook het enzymstelsel wordt aangeast.

### *Stikstof*

De stikstof die uit de wortel wordt geredistribueerd betreft vrijwel uitsluitend organisch gebonden stikstofverbindingen. Het gehalte aan nitraat in de wortel is in verhouding tot het gehalte aan eiwitten en aminozuren verwaarloosbaar. Hoewel het stikstofgehalte van de worteldrogestof varieert van 0,4 tot 1,1%, wat overeenkomt met een ruw eiwitgehalte van 2,5 tot 6,9% (berekend als  $6,25 \times [N]$ ), bepalen in alle gevallen aminozuren voor 8% de afname van drogestof in de wortel. Dit betekent dat een groter deel van de stikstof dan van de koolhydraten in de wortel voor redistributie worden gebruikt, zelfs bij stikstofrijke wortels. Verreweg de meeste stikstof is in de vorm van eiwitten in de wortel aanwezig. Voor de beschikbaarheid van stikstof voor de redistributie geldt hetzelfde als voor koolhydraten: de lange eiwitmoleculen moeten eerst tot aminozuren worden afgebroken alvorens ze geschikt zijn voor transport. Na 5 weken bewaring is nog 95% van de stikstof in de vorm van eiwitten in de wortel aanwezig en na 15 weken is dat nog steeds ruim 90%. De meeste afbraak vindt dus tijdens forceren plaats. Tijdens een normale forceerperiode wordt 55 - 70% van de eiwitten afgebroken.

Niet alle aminozuren zijn even sterk in de eiwitten vertegenwoordigd, maar de aminozuursamenstelling is redelijk gelijk bij stikstofrijke en -arme wortels op enkele aminozuren na (Tabel 3.4.1). Na forceren is voor alle wortels de aminozuursamenstelling van de resterende eiwitten vrijwel ongewijzigd, een enkele uitzondering (methionine) daargelaten. Dat wil zeggen dat de afname van eiwit-aminozuren in de wortel voor ieder aminozuur proportioneel is met het gehalte. Er is geen reden te veronderstellen dat dit tijdens bewaring niet het geval is. Desondanks wijkt de samenstelling van de vrije aminozuren sterk af van die in eiwitten, wat betekent dat er conversie van aminozuren plaatsvindt. Een groot aantal aminozuren

die bij de afbraak van eiwitten vrijkomen verdwijnt geheel (gly, his, thr, val, phe, lys) of gedeeltelijk (30-80%: asp, asn, ala, tyr, ile, leu). Het gehalte aan enkele andere vrije aminozuren neemt hierbij toe.



Figuur 4.6. Toename van vrije aminozuren (glutaminezuur, serine, glutamine, arginine, proline en metionine) door conversie van andere aminozuren uit eiwitafbraak in wortels, na A: 5 weken en B: 15 weken bewaring bij 0°C; experiment 7 (zie 3.6) en 5 (zie 3.4)

Merkwaardig is dat in 5 weken bewaring het grootste deel van de aminozuren is omgezet tot arginine, behalve bij de wat stikstofarme wortels. Bij deze wortels vindt wat vorming van proline en glutaminezuur plaats, terwijl bij stikstofrijke wortels vorming van glutamine plaatsvindt. In 15 weken bewaring worden aminozuren hoofdzakelijk geconverteerd tot proline in plaats van tot arginine (Fig. 4.6). Zowel proline als arginine zijn aminozuren die in verschillende planten voor transport worden gebruikt. Daarnaast valt nog op dat er nog een verschil is in conversie tussen stikstofrijke en -arme wortels, zowel na 5 als na 15 weken bewaring. De bij conversie gevormde hoeveelheid serine neemt toe met het stikstofgehalte, terwijl de hoeveelheid gevormde methionine juist afneemt. Tijdens forceren is geen balans op te stellen van de conversie van aminozuren, aangezien 95 - 97% van de aanwezige en bij eiwitafbraak vrijgekomen aminozuren naar de krop wordt geredistribueerd.

*Andere bestanddelen van de drogestof*

De uit de wortel geredistribueerde drogestof wordt voor 85% bepaald door sacharose en voor 8% door aminozuren. Het is echter onbekend waar de resterende 7% uit bestaat. De hoeveelheid mineralen die wordt geredistribueerd vormt slechts een klein deel hiervan (kalium en calcium <1,5%). Deze resterende drogestofredistributie bestaat waarschijnlijk uit transport van latex, organische zuren en fenolen in de melksapvaten. Een andere mogelijkheid is dat een deel van de celwanden e.d. wordt afgebroken en getransporteerd, wat zou inhouden dat het opslagsysteem zichzelf ontmantelt.

#### 4.5. De invloed van de voedingsoplossing

De wortelreserves bestaan voor het grootste deel uit koolhydraten, maar bevatten daarnaast stikstofverbindingen en mineralen, waardoor de plant in staat is om ook op leidingwater te hergroeien en een krop te vormen. In het algemeen levert het toevoegen van mineralen aan het leidingwater wel een grotere kropproductie op. Zowel de droge als de verse kropproductie neemt toe naarmate geforceerd wordt op een minder verdunde Hoagland voedingsoplossing.

In tegenstelling tot forceren bij een hogere temperatuur of na een langere koude bewaring treedt er bij forceren op een minder verdunde voedingsoplossing geen versnelling of vertraging op in de kropgroei en wordt op hetzelfde moment een maximum drogestofproductie bereikt. In het begin van forceren, d.w.z. de eerste 2 weken, heeft de concentratie van de voedingsoplossing nauwelijks invloed op de kropgroei. De invloed die de concentratie van de voedingsoplossing in deze periode heeft, betreft hoofdzakelijk een geringe verhoging van de verse kropgroei, waardoor het drogestofgehalte van de krop wat lager wordt bij een minder verdunde voedingsoplossing (Fig. 4.2.A). In de derde week van forceren wordt de sterke toename van de kropgroei gestimuleerd bij gebruik van een minder verdunde voedingsoplossing. Dit geldt niet alleen voor de drogestof, maar zelfs sterker voor de versestof productie, waardoor de verschillen in het drogestofgehalte van de krop verdwijnen. Na deze 3 weken forceren neemt, ongeacht de concentratie van de voedingsoplossing, de kropgroei af en bereikt de drogestofproductie een maximum niveau. Het geringe effect van de concentratie van de voedingsoplossing in het begin van forceren zou een argument kunnen zijn voor het langzaam opvoeren van de concentratie van de voedingsoplossing gedurende de forceerperiode.

Aangezien de kropproductie in een latere fase van forceren hoger is bij gebruik van een minder verdunde voedingsoplossing, is de maximum drogestofproductie, die op hetzelfde moment bereikt wordt hoger dan bij forceren op een sterk verdunde oplossing. Het feit dat in de fase van sterke kropgroei de concentratie van de voedingsoplossing de kropgroei kan bevorderen, doet vermoeden dat een of meerdere mineralen niet voldoende in de wortelreserves aanwezig danwel minder beschikbaar zijn en aldus een beperking voor de kropgroei opleveren.

Toch veroorzaakt niet elke verhoging van de concentratie van de voedingsoplossing een toename in de kropgroei. In het eerste experiment blijkt de gemiddelde drogestofproductie niet alleen hoger te zijn bij 1/4 Hoagland in vergelijking tot leidingwater, maar ook hoger bij 1/2 Hoagland en zelfs bij gebruik van volledige Hoagland (Fig. 3.1.1). In het tweede experiment is dat echter niet het geval, en wordt de drogestofproductie al midden in de fase van sterke kropgroei beperkt door de onverdunde Hoagland oplossing. Nog voordat een maximum drogestofproductie bereikt wordt, levert zelfs ook 1/2 Hoagland een beperking van de kropgroei op (Fig. 3.2.2). De beperking van de kropgroei door een onverdunde Hoagland oplossing kan veroorzaakt worden door de veel geringere ontwikkeling van fijne wortels in de eerste 2 weken van forceren, waardoor in de daaropvolgende periode van sterke groei de dan noodzakelijke opname bemoeilijkt wordt. Het feit dat in het eerste experiment waarschijnlijk sprake is van uitputting van de voedingsoplossingen door een lage frequentie van verversen, kan een verklaring zijn voor de positieve invloed van een volledige Hoagland oplossing in dit experiment, daar in de latere fase van forceren deze oplossing al lang niet meer 'volledig' is. In de andere experimenten zijn de voedingsoplossingen daarentegen regelmatig tijdens forceren ververs.



### Wortelmaat

De invloed van de voedingsoplossing is niet bij alle wortels hetzelfde. In het eerste experiment neemt de produktie van drogestof (en ook van versestof) bij kleine en grote wortels vrijwel evenveel toe bij gebruik van een sterker geconcentreerde voedingsoplossing. Alleen bij 1/4 Hoagland is een afwijkende relatie waar te nemen tussen kropproduktie en wortelgewicht, waarbij de correlatiecoëfficiënt dan ook kleiner is dan 0,5 (Fig. 3.1.1 & Fig. 3.1.2). Zoals hiervoor reeds vermeld, is er mogelijk sprake van uitputting van de voedingsoplossingen. In het tweede experiment is te zien dat er in het begin van forceren nauwelijks verschil is in drogestofproduktie tussen kleine en grote wortels (Fig. 3.2.4). Ook het ontbreken van enig effect van de concentratie van de voedingsoplossing op de drogestofproduktie in deze fase betreft zowel kleine als grote wortels. De voedingsoplossing heeft in deze fase echter hoofdzakelijk invloed op de drogestofproduktie bij grote wortels. Dit zou kunnen betekenen dat de beperking in krogroei bij kleine wortels vooral berust op een geringere beschikbaarheid van reservestoffen, zoals koolhydraten, en dat bij grote wortels eerder de beschikbaarheid van mineralen een beperkende rol gaat spelen. In experiment 7 heeft zelfs 1/2 ten opzichte van 1/4 Hoagland een hogere produktie van drogestof tot gevolg. De drogestofproduktie is bij grote wortels op 1/2 Hoagland 1,1 tot 1,3x zo groot als op 1/4 Hoagland, terwijl bij kleine wortels de produktie van krogdrogestof meestal hetzelfde maar soms iets hoger is op 1/2 Hoagland, echter nooit meer dan 1,1x die op 1/4 Hoagland (Fig. 3.6.6.). De grotere drogestofproduktie bij forceren op een minder verdunde voedingsoplossing gaat gepaard met een proportionele toename van de drogestofafname in de wortel, wat betekent dat forceren op verschillende geconcentreerde voedingsoplossingen geen gevolgen heeft voor het rendement van de drogestofredistributie (Fig. 3.6.8.B).

### Stikstof

Zowel de verse- als de drogestofproduktie van de krop is groter bij stikstofrijke dan bij -arme wortels. Wanneer geforceerd wordt op een minder verdunde voedingsoplossing neemt de kropproduktie toe, hoofdzakelijk bij stikstofarme en nauwelijks bij -rijke wortels (Fig. 3.4.2/5). De redistributie van stikstof uit de wortel is hierbij onafhankelijk van de concentratie van de voedingsoplossing. Dit betekent dat bij forceren van stikstofarme wortels op 1/8 Hoagland een tekort aan stikstof ontstaat voor een optimale kropproduktie, die evenwel aangevuld kan worden door extra opname uit 1/4 Hoagland. De kropproduktie neemt bij grote wortels ook toe wanneer wordt geforceerd op 1/2 i.p.v. 1/4 Hoagland, in sterkere mate bij stikstofarme dan bij -rijke wortels. Bij kleine wortels heeft dit echter nauwelijks effect meer (Fig. 3.6.6). In dit geval (experiment 7) hebben de stikstofarme wortels niet een erg laag stikstofgehalte, en treden er bij forceren van kleine wortels op 1/4 Hoagland geen beperkingen op als gevolg van stikstofbeschikbaarheid in de wortel, terwijl daarvan bij grote wortels nog wel sprake is. Deze beperkingen kunnen door extra opname uit 1/2 Hoagland aangevuld worden. De stikstofopname is ook daadwerkelijk groter bij stikstofarme dan bij -rijke wortels en neemt eveneens toe bij forceren op een minder verdunde voedingsoplossing. Deze toename is in absolute zin groter bij forceren van stikstofarme dan van -rijke wortels op een minder verdunde voedingsoplossing, maar relatief is de toename ongeveer gelijk d.w.z. bijna het dubbele bij alle wortels op 1/4 i.p.v. 1/8 Hoagland (Fig. 3.4.11.A en Fig. 3.4.12.C). Na een langere bewaring van de wortels is de stikstofopname bij stikstofarme wortels aanzienlijk groter dan na korte bewaring, terwijl de opname juist kleiner is bij stikstofrijke wortels. Blijkbaar zijn de stikstofreserves in stikstofrijke wortels na een langere bewaring beter beschikbaar voor redistributie en is er minder opname van stikstof uit de voedingsoplossing nodig voor een optimale kropproduktie. Ook in stikstofarme wortels zijn de stikstofreserves na een

langere bewaring beter beschikbaar voor redistributie, maar dat geldt ook voor de andere inhoudstoffen (koolhydraten; zie 3.4.4 en 4.4), waardoor de grotere redistributie van stikstof uit de wortel nog steeds niet toereikend is voor de optimale kropproductie en er meer stikstof moet worden opgenomen. Dit wordt bevestigd door het feit dat de stikstofopname bij stikstofarme wortels nog toeneemt bij forceren op 1/4 i.p.v. 1/8 Hoagland, terwijl deze concentratieverhoging van de voedingsoplossing bij stikstofrijke wortels geen hogere opname teweeg brengt (Fig. 3.4.11.B en Fig. 3.4.12.B).

De opname van stikstof uit de voedingsoplossing is echter niet alleen afhankelijk van het stikstofgehalte van de wortel, maar ook van de maat. Inherent aan de grotere drogestofafname is ook de stikstofredistributie uit de wortel per gewichtseenheid groter bij kleine dan bij grote wortels. Tevens is de stikstofopname uit de voedingsoplossing veel groter. Zelfs zodanig dat, ondanks de grotere redistributie, het aandeel van de opname in het totale stikstoftransport naar de krop nog aanzienlijk groter is bij kleine dan bij grote wortels (Fig. 3.6.15). Bovendien levert forceren op een minder verdunde voedingsoplossing bij kleine wortels eenzelfde verhoging van de stikstofopname op als bij grote wortels. Dit doet vermoeden dat bij forceren van kleine wortels een groter tekort aan uit de wortel redistribueerbare stikstof optreedt dan bij grote wortels, in tegenstelling tot de eerder genoemde redistributie van andere mineralen die juist bij grote wortels beperkend is. Er treedt hier echter een merkwaardig fenomeen op. Bij grote wortels heeft het gebruik van een minder verdunde voedingsoplossing geen gevolg voor de redistributie van stikstof uit de wortel naar de krop en vormt de opname van stikstof uit de voedingsoplossing een aanvulling hierop. Bij kleine wortels is de redistributie van stikstof bij forceren op 1/4 Hoagland relatief ten opzichte van de totale drogestofredistributie geringer en de opname van stikstof uit de voedingsoplossing groter dan bij grote wortels, vooral wanneer het stikstofarme wortels betreft. Wanneer kleine wortels op 1/2 i.p.v. op 1/4 Hoagland worden geforceerd neemt de stikstofopname relatief meer toe bij stikstofarme dan bij -rijke wortels. De redistributie van stikstof uit de wortel blijft hierbij niet hetzelfde, maar wordt tot bijna de helft gereduceerd (Fig. 3.6.11.B). Dit betekent dat er wel degelijk stikstof voor redistributie in de kleine wortels beschikbaar is, maar dat de wortels er in slagen voor een deel de stikstofreserves weer aan te vullen door opname van stikstof uit de voedingsoplossing, of dat bij voorkeur uit de voedingsoplossing opgenomen stikstof voor de kropproductie wordt gebruikt. Mogelijk bestaat bij grote wortels dezelfde voorkeur, maar beschikken ze niet over voldoende opnamecapaciteit of zijn de mogelijkheden voor verwerking van de opgenomen stikstof (nitraat) beperkt. Of dit in wortel of krop tot nitraatophoping leidt is niet bepaald.

### *Kalium*

Naast de redistributie van koolhydraten en stikstof vindt er ook redistributie van kalium en calcium plaats. Het verschil met stikstof is dat kalium niet in een organisch gebonden vorm is opgeslagen, maar zich in minerale vorm in de wortel bevindt. Kalium is dus in een transporteerbare vorm in de wortel aanwezig en de beschikbaarheid voor redistributie is dan ook niet, zoals bij stikstof, afhankelijk van de snelheid van een afbraakproces.

In de experimenten waarin kaliumanalyses van wortel en krop zijn uitgevoerd (experiment 5 en 6) was het kaliumgehalte vrijwel hetzelfde voor zowel kleine, grote, stikstofarme en -rijke wortels. Desondanks was de kaliumredistributie en -opname bij deze wortels niet hetzelfde. De kaliumredistributie is per eenheid wortelgewicht aanzienlijk groter bij stikstofrijke dan bij -arme wortels en bovendien groter bij kleine dan bij grote wortels, zoals dat ook het geval is met de stikstofredistributie. De mate waarin stikstofarme en -rijke wortels verschillen in kaliumredistributie is echter niet zo groot als het verschil in stikstofredistributie. Nu is niet

alleen de stikstofredistributie maar ook de totale drogestofredistributie groter bij stikstofrijke dan bij -arme wortels. Bij kleine wortels blijkt de kaliumredistributie direct afhankelijk te zijn van de drogestofredistributie. Zowel bij stikstofarme als bij -rijke kleine wortels bestaat 2% van de geredistribueerde drogestof uit kalium. Dit betekent dat de kaliumredistributie niet in directe zin afhankelijk is van het stikstofgehalte van de wortel of de stikstofredistributie, maar bepaald wordt door het totale drogestoftransport vanuit de wortel. Ook het verloop van de kaliumredistributie tijdens forceren is hetzelfde als het verloop van de drogestofredistributie. Het gehalte van kalium in de getransporteerde drogestof is evenwel iets lager (20 mg/g ds) dan het kaliumgehalte van de worteldrogestof zelf (24 mg/g ds). Mogelijk heeft dit te maken met de herkomst van de drogestof. In het begin van forceren wordt vooral drogestof uit de stele geredistribueerd, terwijl in een later stadium steeds meer drogestof uit de cortex van de wortel verdwijnt. Het zou kunnen dat het kaliumgehalte van cortex en stele verschilt, maar kaliumanalyses hieraan zijn helaas niet uitgevoerd. Een consequentie van zo'n verschil in kaliumgehalte tussen cortex en stele zou echter zijn dat het kaliumgehalte van de getransporteerde drogestof gedurende forceren ook verandert. Bij forceren op 1/2 Hoagland is dat inderdaad het geval en neemt het kaliumgehalte van de geredistribueerde drogestof af tijdens forceren, maar bij forceren op 1/4 Hoagland is dat niet het geval. Bovendien wordt bij stikstofarme wortels tijdens de gehele forceerperiode relatief meer drogestof uit de stele geredistribueerd dan bij stikstofrijke wortels, wat ook een gevolg voor het kaliumgehalte van de geredistribueerde drogestof zou moeten hebben, tenzij de verschillen in kaliumgehalte van cortex en stele geringer zijn bij stikstofarme dan bij -rijke wortels.

De kaliumredistributie is ook niet hetzelfde bij grote en kleine wortels, maar is veel groter bij kleine dan bij grote wortels. Hoewel ook de drogestofredistributie groter is bij kleine dan bij grote wortels is het verschil in kaliumredistributie groter. Dit heeft tot gevolg dat het kaliumgehalte van de drogestof die uit de wortel verdwijnt lager is bij grote wortels, terwijl het kaliumgehalte van de worteldrogestof niet verschilt. Bovendien is bij grote wortels deze relatieve kaliumredistributie, d.w.z. per gram geredistribueerde drogestof, wel afhankelijk van het stikstofgehalte van de wortel. Het kaliumgehalte van de geredistribueerde drogestof is lager bij stikstofarme dan bij -rijke wortels (resp. 13 en 17 mg/g ds). Evenals bij kleine wortels is het onwaarschijnlijk dat deze lage kaliumgehalten van de geredistribueerde drogestof een gevolg zijn van de herkomst van de drogestof in de wortel. Ook bij grote wortels wordt in het begin van forceren meer drogestof uit de stele dan uit de cortex geredistribueerd en later steeds meer uit de cortex, waarbij eveneens bij stikstofarme wortels meer drogestof afkomstig is uit de stele dan bij stikstofrijke wortels. Gedurende de gehele forceerperiode wordt bij grote wortels zelfs meer drogestof uit de stele geredistribueerd dan bij kleine wortels. Wanneer het kaliumgehalte van de stele hoger zou zijn dan van de cortex, wat overeen zou komen met het hogere kaliumgehalte van de geredistribueerde drogestof in het begin van forceren, dan zou het kaliumgehalte van de geredistribueerde drogestof bij grote wortels juist hoger moeten zijn dan bij kleine wortels en hoger bij stikstofarme dan bij -rijke wortels.

Wat bij de kaliumredistributie niet vergeten moet worden is dat het de netto afname uit de wortel betreft en dat er ook een aanzienlijke hoeveelheid kalium uit de voedingsoplossing wordt opgenomen. Het is uit de metingen niet mogelijk de herkomst van de kalium die naar de krop wordt getransporteerd te achterhalen. Met andere woorden: het transport van kalium naar de krop kan bestaan uit de uit de voedingsoplossing opgenomen plus de uit de wortel geredistribueerde kalium (a), maar zou evengoed volledig redistributie uit de wortel kunnen betreffen, waarbij de uit de voedingsoplossing opgenomen kalium de kaliumpool in de wortel weer gedeeltelijk aanvult (b). Nu is de netto afname van kalium in de wortel groter bij stikstofrijke dan bij -arme wortels en ook groter bij kleine dan bij grote wortels (Fig. 3.6.18). De opname van kalium uit de voedingsoplossing is juist geringer bij stikstofrijke dan

bij -arme wortels en eveneens geringer bij kleine dan bij grote wortels. Ondanks het compenserende effect van de opname blijft het totale kaliumtransport naar de krop groter bij stikstofrijke dan bij -arme wortels en ook groter bij kleine dan bij grote wortels (Fig. 3.6.17). Dit kan dus inhouden dat (in geval a) bij stikstofarme en grote wortels de redistributie van kalium uit de wortel beperkend is, wat voor een groot deel wordt gecompenseerd door opname uit de voedingsoplossing, of dat (in geval b) juist de opname uit de voedingsoplossing beperkt is bij stikstofrijke en kleine wortels, waardoor de netto kaliumafname in de wortel groter is.

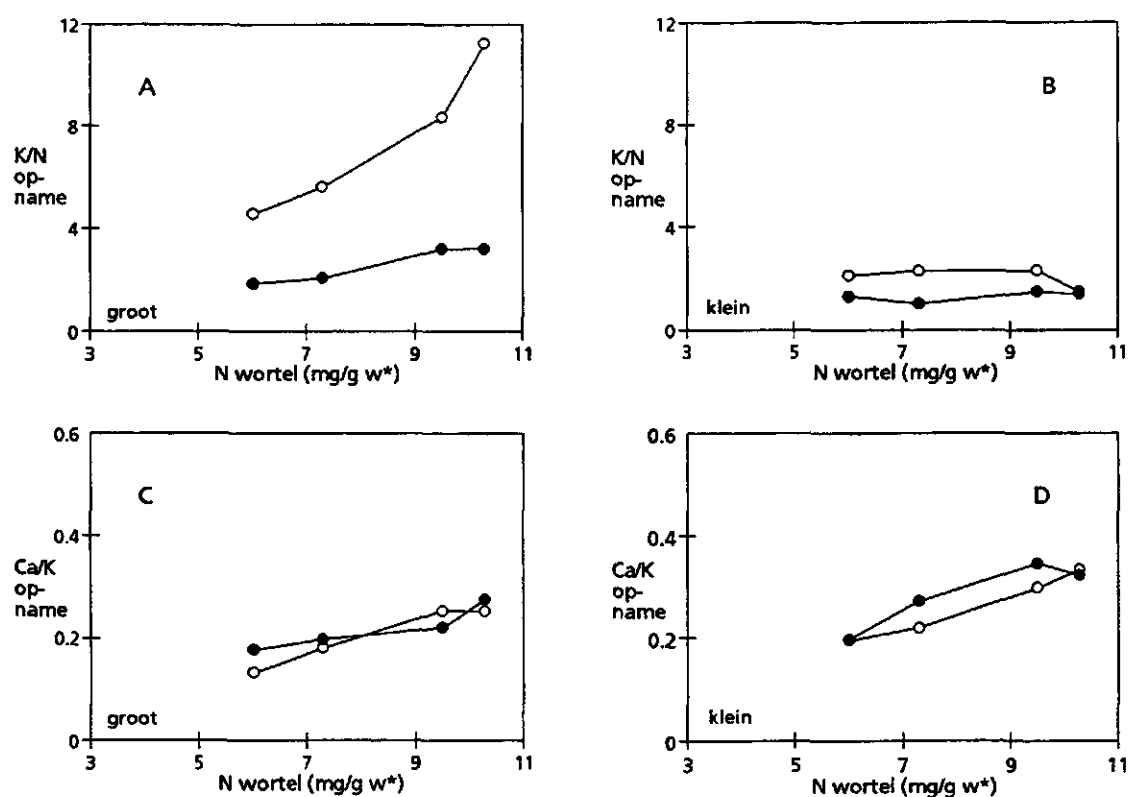
### *Calcium*

Hoewel er grote verschillen bestaan tussen het kalium- en het calciumtransport naar de krop, lopen de verschillen tussen stikstofarme en -rijke en tussen grote en kleine wortels voor een groot deel wel parallel.

In tegenstelling tot het kaliumtransport komt een groot deel van de naar de krop getransporteerde calcium uit de voedingsoplossing. In het begin van forceren wordt wel wat calcium uit de wortel geredistribueerd, maar in een later stadium bepaalt uitsluitend de opname het calciumtransport en wordt bovendien de in eerste instantie geredistribueerde calcium in de wortel weer aangevuld. Na 22 dagen forceren wordt dan ook 60 tot 100% van het totale calciumtransport naar de krop door de opname uit de voedingsoplossing bepaald. Het kan zijn dat hier sprake is van een zogenaamd 'doorsluis-systeem', waarbij de naar de krop getransporteerde calcium uit de wortel geredistribueerd wordt en de opname de wortelpool weer aanvult, maar als veel van de calcium in een immobiele vorm aanwezig is in de wortel ligt dat niet voor de hand.

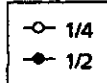
Evenals bij de kaliumredistributie is de calciumredistributie uit de wortel wel groter bij stikstofrijke dan bij -arme wortels en eveneens groter bij kleine dan bij grote wortels. Bovendien is de opname uit de voedingsoplossing ook wat betreft calcium juist geringer bij stikstofrijke dan bij -arme wortels, maar niet geringer bij kleine dan bij grote wortels. Daar voor wat betreft calcium de opname een veel groter aandeel heeft in het transport naar de krop, worden de verschillen in redistributie tussen stikstofarme en -rijke wortels geheel gecompenseerd door de opname en is het calciumtransport naar de krop voor deze wortels gelijk. Het calciumtransport naar de krop is wel groter bij kleine dan bij grote wortels. Als echter de redistributie van calcium zo'n kleine rol speelt in het calciumtransport naar de krop ligt het voor de hand het calciumtransport niet per g wortel, maar per wortel te bekijken. In dat geval is het (absolute) calciumtransport naar de krop voor kleine en grote wortels gelijk.

De overeenkomst in opname van kalium en calcium met de opname van nitraat uit de voedingsoplossing bij stikstofarme en -rijke en grote en kleine wortels doet vermoeden dat de verschillen in opname tussen deze verschillende wortels berusten op verschillen in opnamecapaciteit van het wortelstelsel of op een gekoppelde opname van de twee kationen met het anion nitraat. Hoewel de kalium/nitraat opname-verhouding bij stikstofarme en -rijke kleine wortels vrijwel hetzelfde is, neemt deze bij grote wortels echter sterk toe met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 4.7.A/B). Datzelfde geldt in nog iets sterkere mate voor de calcium/nitraat opname-verhouding, zodat ook de calcium/kalium opname verhouding toeneemt met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 4.7.C/D).



Figuur 4.7. Verhouding tussen A,B: kalium- en stikstofopname en C,D: calcium- en kaliumopname uit de voedingsoplossing, in relatie tot het stikstofgehalte van A,C: grote en B,D: kleine wortels, na 22 dagen forceren op 1/4 of 1/2 Hoagland bij 18°C na 5 weken bewaring bij 0°C; experiment 7 (zie 3.6)

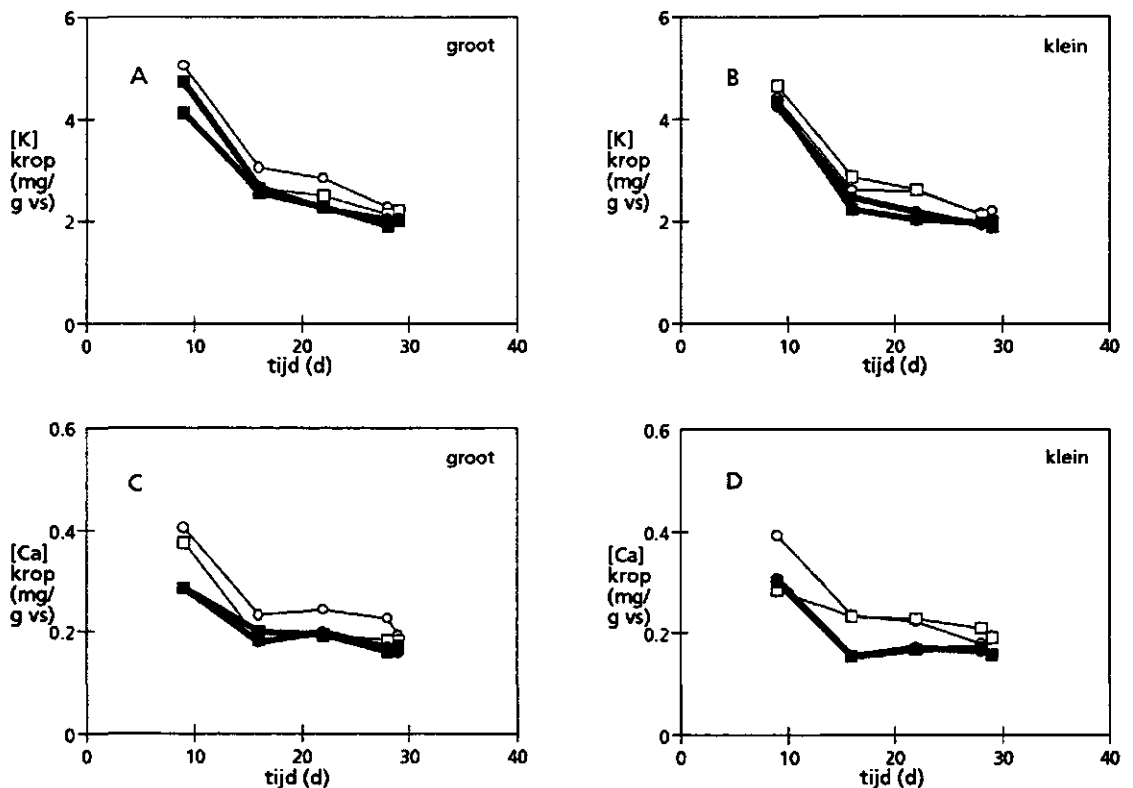
Hoagland



### Krop

Niet alleen is het transport van stikstof en kalium naar de krop groter bij stikstofrijke dan bij -arme wortels, maar ook de totale drogestofredistributie. Dit heeft tot gevolg dat het kaliumgehalte van de kropdrogestof bij alle wortels min of meer hetzelfde is en bovendien redelijk constant gedurende forceren. Ook het stikstofgehalte is redelijk constant, maar door de veel grotere verschillen in stikstofredistributie is het gehalte in de kropdrogestof wel hoger bij stikstofrijke dan bij -arme wortels. Het omgekeerde is het geval voor wat betreft het calciumgehalte, daar het calciumtransport naar de krop vrijwel gelijk, maar de drogestofredistributie groter is bij stikstofrijke en -arme wortels. Doordat het calciumtransport in het begin van forceren gering is, neemt het calciumgehalte in de kropdrogestof bij alle wortels toe tijdens forceren.

In deze paragraaf is het transport van mineralen tot nu toe beschouwd in relatie tot redistributie en opname vanuit de wortel. De vraag is echter of het mineralentransport naar de krop bepaald wordt door beperkingen in de wortel, betreffende redistributie danwel opname, of juist door de krop. Hierbij kan gedacht worden aan een eventuele osmoregulerende functie van vooral kalium in de krop. In dat geval is het niet zinvol om de mineraalgehalten op drogestofbasis van de krop te bekijken.



Figuur 4.8. A,B: Kalium- en C,D: calciumgehalte van de krop tijdens forceren bij 18°C en 1/4 Hoagland na 5 weken bewaring bij 0°C van A,C: grote en B,D: kleine wortels die variëren in stikstofgehalte; experiment 7 (zie 3.6)

N wortel (mg/g)			
○	6	●	9.6
□	7.6	■	10.6

Aangezien het drogestofgehalte van de krop steeds geringer wordt neemt zowel het calcium- als het kaliumgehalte van de verse krop af tijdens forceren. Daarnaast heeft het hogere drogestofgehalte van kroppen van stikstofarme wortels tot gevolg dat het calcium- en kaliumgehalte van de verse krop hoger is bij stikstofarme dan bij -rijke wortels (Fig. 4.8). De hoeveelheid nitraat die naar de krop wordt getransporteerd is gering in verhouding tot kalium, daar de meeste stikstof in de vorm van aminozuren uit de wortel wordt geredistribueerd. Bovendien wordt een groot deel van de uit de voedingsoplossing opgenomen nitraat in de krop gebruikt voor de vorming van eiwitten. Ook al zou al het naar de krop getransporteerde nitraat nog als zodanig in de krop aanwezig zijn, dan zou eveneens een zelfde verloop waar te nemen zijn, d.w.z. een hoger gehalte in de verse krop bij stikstofarme wortels en een afname van het gehalte tijdens forceren.

Van de naar de krop getransporteerde koolhydraten wordt slechts een deel direct gebruikt voor de vorming van structureel materiaal, waardoor na 24 dagen forceren nog 30 tot 40% van de kropdrogestof (d.w.z. 20 tot 30 mg/g vs) uit oplosbare koolhydraten bestaat, die eveneens osmotisch actief zijn (Fig. 3.4.24). Ook voor de oplosbare koolhydraten geldt echter dat het gehalte in de verse krop hoger is bij stikstofarme wortels en afneemt tijdens forceren. Dit betekent dat het onwaarschijnlijk is dat een osmoregulerende functie van de mineralen bepalend zou zijn voor het mineralentransport van naar de krop.

#### 4.6. De visuele kwaliteitskenmerken

In de vorige paragrafen is uitvoerig besproken hoe de redistributie van drogestof vanuit de wortel, de opname van mineralen uit de voedingsoplossing en de vorming van de krop verlopen. Als gevolg van verschillen in het verloop van deze processen varieert de chemische samenstelling van de kroppen van kleine, grote, stikstofarme en -rijke wortels. Bovendien is de samenstelling van de krop afhankelijk van de bewaar- en forceercondities van de wortel. In dit onderzoek is niet bestudeerd in hoeverre de chemische samenstelling van de krop bepalend is voor de vorm en structuur van de krop. Wel zijn bij een groot deel van de experimenten metingen aan de krop uitgevoerd om enkele visuele kwaliteitskenmerken te kunnen kwantificeren en te correleren met worteleigenschappen, bewaar- en forceercondities. Kroppen worden in de praktijk op grond van hun kwaliteit ingedeeld in 3 klassen, waarbinnen nog onderscheid wordt gemaakt tussen lange en korte kroppen. Belangrijke kwaliteitskenmerken van de krop zijn de geslotenheid, de lengte van de pit en de mate waarin interne fysiologische afwijkingen voorkomen, zoals bruine pit.

##### *Geslotenheid krop*

Een maat voor de losheid van de krop is de verhouding tussen kropvolume en versgewicht. Een groter volume van de krop bij een zelfde kropgewicht betekent een lossere krop. Het versgewicht van de krop neemt bij een vaste forceerperiode toe met het stikstofgehalte van de wortel. Alleen bij hoge stikstofgehalten van de wortel niet meer: daar blijft het versgewicht hetzelfde. Het volume van de krop neemt eveneens toe met het stikstofgehalte van de wortel, echter ook bij hoge stikstofgehalten van de wortel (Fig. 3.4.24). In andere experimenten met een hogere range van stikstofgehalten van de wortel, neemt bij grote wortels het kropvolume alleen bij de wortels met het hoogste stikstofgehalte niet meer toe (Fig. 3.6.2.A&C en Fig. 3.6.30.A). Dit betekent dat het forceren van stikstofrijke wortels lossere kroppen oplevert. De categorie 'grote' wortels in deze experimenten komt overeen met de normale wortels in de eerdere experimenten. Wanneer kleine wortels (tot 30 g ds) worden geforceerd neemt de losheid van de krop echter niet toe (Fig. 3.6.2.B&D en Fig. 3.6.30.B). Een andere manier om de geslotenheid van de krop uit te drukken is de verhouding tussen de top- en middendiameter van de krop. Deze relatieve topdiameter is representatief voor de mate waarin de kroppunt open staat, in tegenstelling tot de versgewicht/volume verhouding van de krop die de algehele kropdichtheid aangeeft.

De relatieve topdiameter neemt af tijdens forceren (Fig. 3.2.6.B en Fig. 3.3.3.B), maar is groter naarmate het stikstofgehalte van de wortel hoger is (Fig. 3.4.27.B&D en Fig. 3.6.33.C). Frappant is dat de relatieve topdiameter groter is wanneer geforceerd wordt op een minder verdunde voedingsoplossing. Daar tegenover staat dat de relatieve topdiameter aan het einde van de forceerperiode juist sterker afneemt wanneer wel kalium in de voedingsoplossing aanwezig is; de aanwezigheid van calcium in de voedingsoplossing heeft geen invloed op de topdiameter (Fig. 3.5.20).

De invloed van de bewaarduur van de wortel en de forceertemperatuur op de relatieve topdiameter is niet eenduidig. De absolute topdiameter is onafhankelijk van de forceertemperatuur, maar neemt af naarmate de wortel langer is bewaard. Bij kleine wortels heeft noch het stikstofgehalte van de wortel noch de voedingsoplossing invloed op de relatieve topdiameter. Alleen de bewaarduur van de wortel heeft invloed op de absolute topdiameter bij kleine wortels (Fig. 3.6.33.B).

### *Kropvorm (kort/lang)*

Evenals de toename van het versgewicht en het volume van de krop neemt ook de lengte van de krop toe tijdens forceren. Afhankelijk van de worteleigenschappen en forceeromstandigheden worden kroppen verkregen die verschillen in gewicht. Om de indeling in kort en lang lof onafhankelijk te maken van de grootte van de krop wordt in de experimenten de verhouding van diameter en lengte gebruikt.

In het begin van forceren is de krop nog kort, maar vooral erg dun, waardoor de diameter/lengte verhouding laag is. Deze verhouding neemt toe tijdens forceren. Wanneer echter lang wordt geforceerd neemt de verhouding weer af, daar de diameter vrijwel niet meer verandert en er alleen nog lengtegroei plaatsvindt (Fig. 3.3.3.A).

Gedurende een normale forceerperiode van 20 tot 24 dagen nemen, met een toenemend kropvolume, zowel de lengte als de diameter van de krop toe, echter niet in gelijke mate bij wortels die variëren in stikstofgehalte. Over het algemeen neemt de diameter/lengte verhouding toe met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.4.26.B), wat niet in alle experimenten even duidelijk waar te nemen was (Fig. 3.6.32). Dit betekent dat er relatief meer korte kroppen geproduceerd worden met stikstofrijke wortels.

Omtrent de invloed van de bewaarduur van de wortel, forceertemperatuur en de concentratie van de voedingsoplossing op de diameter/lengte verhouding is geen conclusie te trekken. Wel is de diameter/lengte verhouding lager wanneer kalium in de voedingsoplossing aanwezig is (Fig. 3.5.18), wat veroorzaakt wordt door een sterkere strekking van de krop.

De relatie van de diameter/lengte verhouding met het stikstofgehalte van de wortel c.q. de aanwezigheid van kalium in de voedingsoplossing vertoont veel overeenkomst met de losheid van de krop (zie hierboven). Er moet dan ook rekening gehouden worden met het feit dat bij een lossere krop niet alleen de topdiameter maar ook de middendiameter van de krop (iets) groter is, waardoor de hier gebruikte methode om korte en lange kroppen te onderscheiden een vertekend beeld geeft.

### *Pitlengte*

De kroplengte neemt zoals gezegd toe tijdens forceren. Deze lengtegroei van de krop wordt voor een deel bepaald door strekking van de bladeren, maar de bladeren zijn met hun basis verbonden met de pit. Door de strekking van de pit komt de basis van jongere bladeren hoger te staan, waardoor ook de lengte van de krop toeneemt. Voor de kwaliteit van de krop is het belangrijk dat de pit niet te lang is. Dit wordt uitgedrukt als percentage van de kroplengte, d.w.z. de relatieve pitlengte wordt als factor voor de kropkwaliteit gebruikt.

Tijdens forceren neemt de pitlengte meer toe dan de kroplengte, waardoor ook de relatieve pitlengte toeneemt (Fig. 3.3.2.B). De relatieve pitlengte neemt ook toe naarmate de wortels langer zijn bewaard of wanneer geforceerd wordt bij een hogere temperatuur (zie 3.4.5). De resultaten van verschillende experimenten betreffende de relatie tussen de relatieve pitlengte en het stikstofgehalte van de wortel zijn niet geheel consistent. In de experimenten 4 en 5 loopt de toename van de pitlengte met het stikstofgehalte van de wortel parallel met de toename van de kroplengte (Fig. 3.4.25 en 28), waardoor de relatieve pitlengte voor alle wortels hetzelfde is. In de experimenten 7 en 8 neemt de relatieve pitlengte wel aanzienlijk toe met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.6.34.C&D). Hierbij moet nogmaals opgemerkt worden dat in deze laatste experimenten de range van stikstofgehalten van de wortel hoger ligt. In deze experimenten is ook een duidelijk verschil te zien tussen grote en kleine wortels: de relatieve pitlengte is veel groter bij grote dan bij kleine wortels.



In het experiment waarbij al dan niet kalium of calcium aan de voedingsoplossing is toegevoegd is het pitoppervlak op lengtedoorsnede in plaats van de pitlengte gemeten. Aangezien de diameter van de pit nauwelijks verandert komt dit overeen met de lengtebepaling. Het relatieve pitoppervlak neemt sterk toe aan het einde van de normale forceerperiode, het zogenaamde schieten, maar noch de aanwezigheid van kalium noch van calcium hebben invloed op het relatieve pitoppervlak (Fig. 3.5.22).

### *Bruine pit*

In de pit kunnen bruine necrotische plekken voorkomen die een negatieve rol spelen bij de beoordeling van de kropkwaliteit. Het bruinverkleurde pitoppervlak neemt zeer sterk toe met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.4.29.A&B en Fig. 3.6.35.A&B). Bovendien neemt het bruine pit oppervlak toe naarmate de wortels langer zijn bewaard of geforceerd wordt bij een hogere temperatuur. Niet alleen het absolute bruine pitoppervlak neemt toe in genoemde gevallen, maar ook de relatieve bruinverkleuring van de pit, d.w.z. de bruine pit/pit oppervlak-verhouding (Fig. 3.4.29.C en Fig. 3.6.35.C&D).

Ook de bruinverkleuring van de pit is geringer bij kleine dan bij grote wortels, maar een minder verdunde voedingsoplossing lijkt alleen de bruinverkleuring te verminderen wanneer geforceerd wordt na langere bewaring van de wortel. Toch heeft de aanwezigheid van kalium in de voedingsoplossing wel een geringere bruinverkleuring van de pit tot gevolg, ook wanneer geforceerd wordt na een zeer korte bewaring van de wortels (Fig. 3.5.26). De aanwezigheid van calcium in de voedingsoplossing heeft nauwelijks invloed op de bruinverkleuring van de pit bij kleine wortels, maar vermindert wel de bruinverkleuring bij grote wortels. In plaats van het oppervlak kan ook het aantal bruine plekken als maat voor de bruinverkleuring gebruikt worden. De relatie tussen het aantal bruine plekken en het stikstofgehalte van de wortel, de wortelmaat en de forceeromstandigheden is ongeveer hetzelfde als bij het oppervlak van bruine pit is waargenomen (Fig. 3.4.30.B, Fig. 3.6.36 en Fig. 3.5.24). Toch betekent dit niet dat het oppervlak van de individuele plekken constant is: dit oppervlak per plek neemt tijdens forceren toe en is geringer wanneer kalium in de voedingsoplossing aanwezig is (Fig. 3.5.25).

Afgezien van het feit dat in de experimenten 4 en 5 gemiddeld tussen de 10 en 40% van het pitoppervlak bruin verkleurd is, ligt het percentage krogen dat bruinverkleuring vertoont (ongeacht de mate ervan) tussen de 60 en 90%, behalve bij de meest stikstofarme wortels waar het percentage krogen met bruine pit tussen de 0 en 40% ligt (Fig. 3.4.30.A).

#### 4.7. Kropkwaliteit en -klassen in de praktijk

Om een eerste impressie te krijgen van de representativiteit van de in de experimenten gevonden relaties tussen stikstofgehalte van de wortel en de kropkwaliteit, zoals die zijn besproken in de voorgaande paragraaf, zijn experimenten uitgevoerd met partijen wortels uit de praktijk.

Wat betreft de kropproductie worden tegenstrijdige resultaten verkregen in de twee praktijkexperimenten. In het eerste experiment nam de kropproductie af bij een hoger stikstofgehalte van de wortel, terwijl dat in het tweede experiment juist toeneemt (Fig. 3.8.2.A en Fig. 3.8.9). Ook in de eerdere experimenten wordt een hogere kropproductie waargenomen bij stikstofrijke wortels. Hierbij is echter de kropproductie uitgedrukt per gram worteldrogestof. In de praktijkexperimenten is dat niet het geval en wordt de kropproductie per wortel uitgedrukt. In het tweede praktijkexperiment is er nauwelijks sprake van variatie in wortelmaat, maar in het eerste experiment is dat wel degelijk het geval. Niet alleen het versgewicht van stikstofrijke wortels is geringer, maar door de negatieve correlatie tussen het drogestofgehalte en het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.8.1.B en Fig. 3.8.8) neemt vooral het drooggewicht van de wortel af met het stikstofgehalte (Fig. 3.8.1.A). Mogelijk is de geringere kropproductie bij stikstofrijke wortels in dit eerste experiment te wijten aan het lagere wortelgewicht. In het tweede experiment is één deel van de partijen wortels na 1 week en een ander deel pas na 7 weken bewaring geforceerd. De relatie tussen het stikstofgehalte van de wortel en de kropproductie is ook na deze langere bewaring hetzelfde als na 1 week bewaring.

De geoogste kroppen zijn volgens de voor de praktijk gebruikelijke procedure 'geschoond', d.w.z. dat de buitenste bladeren worden verwijderd. Deze tarra van bladafval bedraagt in het eerste experiment zo'n 10 tot 25% van de kropopbrengst (Fig. 3.8.2.C). Er is echter geen duidelijke correlatie waar te nemen tussen het percentage bladafval en het stikstofgehalte van de wortel. Dat geldt ook voor het tweede experiment, althans na korte bewaring van de wortel. Na langere bewaring blijkt het percentage bladafval wel degelijk toe te nemen met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.8.13). Bij het schonen van de krop worden buitenste bladeren verwijderd die naar buiten toe staan. Naarmate de krop een grotere losheid vertoont zullen er meer bladeren worden verwijderd. In voorgaande experimenten is waargenomen dat de losheid van de krop toeneemt met het stikstofgehalte van de wortel, wat dus in overeenstemming is met het hogere percentage bladafval. De losheid van de krop neemt echter af naarmate langer is bewaard, maar dit betreft een verlenging van de bewaring van 5 naar 15 weken, terwijl het in de praktijkexperimenten een verlenging is van 1 naar 7 weken. De kwaliteit van de kroppen wordt in de praktijkexperimenten niet bepaald aan afzonderlijke parameters, zoals dat bij de voorgaande experimenten is gedaan (zie vorige paragraaf). De kroppen zijn ingedeeld in 3 kwaliteitsklassen zoals in de praktijk gebruikelijk is, al dan niet met een onderverdeling in lange en korte kroppen. In beide experimenten neemt met het stikstofgehalte van de wortel het percentage kroppen van klasse I af en nam in het eerste experiment het percentage klasse III kroppen toe, terwijl in het tweede experiment na korte bewaring het percentage klasse II toeneemt (Fig. 3.8.3 en Fig. 3.8.10). In het tweede experiment neemt na langere bewaring weer het percentage klasse III kroppen toe. Met andere woorden: de kropkwaliteit is geringer bij stikstofrijke wortels. Dit stemt overeen met de resultaten van de voorgaande experimenten, waarin de kroppen van stikstofrijke wortels minder gesloten zijn, een langere pit hebben en meer bruinverkleuring van de pit vertonen. In het tweede praktijkexperiment is, naast de indeling in kwaliteitsklassen, na lange bewaring ook specifiek de pitlengte gemeten en het optreden van bruine pit geregistreerd. Zowel de relatieve pitlengte als het percentage kroppen met bruine pit neemt toe met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.8.16).

De afname van klasse I kroppen bij stikstofrijke wortels in het tweede experiment betreft eigenlijk alleen de korte kroppen. Na een korte bewaring komt de toename van klasse II kroppen bij stikstofrijke wortels ook alleen ten goede van de korte kroppen, waardoor het totaal van korte kroppen (klasse I en II) hetzelfde is voor alle wortels (Fig. 3.8.10). Na een langere bewaring neemt naast klasse III kroppen ook de hoeveelheid lange kroppen van vooral klasse I toe met het stikstofgehalte van de wortel (Fig. 3.8.11), wat betekent dat nu wel de hoeveelheid korte kroppen afneemt en de hoeveelheid lange kroppen toeneemt met het stikstofgehalte van de wortel. In de voorgaande experimenten wordt het tegengestelde waargenomen, namelijk meer korte kroppen bij stikstofrijke wortels. Hierbij is echter al opgemerkt dat de diameter/lengte verhouding die als parameter gebruikt wordt een vertekend beeld zou kunnen geven, daar de lossere krop bij stikstofrijke wortels ook samengaat met een grotere diameter. Bovendien wordt in de praktijkexperimenten de kropvorm pas bepaald na schoning van de krop. Zoals reeds gezegd worden bij de lossere kroppen van stikstofrijke wortels dan meer buitenste bladeren verwijderd, wat een geringer kropdiameter tot gevolg heeft, zodat de kroppen eerder als lang worden gekwalificeerd.

Samengevat kan gezegd worden dat de relaties tussen het stikstofgehalte van de wortel en de kropproductie en -kwaliteit, zoals die in het onderzoek werden waargenomen, ook in de praktijkexperimenten tot uitdrukking komen. Toch is de spreiding in de resultaten van de praktijkexperimenten groot, wat betekent dat het stikstofgehalte van de wortel weliswaar een zeer belangrijke factor is, maar dat er nog zeker andere factoren een rol spelen bij het tot stand komen van een goede kropkwaliteit.

Bovendien moet hierbij worden opgemerkt dat het onderzoek zich vrijwel geheel op 'Flash' heeft geconcentreerd, en dat de mate van het optreden van de gevonden relaties ook nog kan variëren met raseigenschappen.

# Literatuur

De lijst met literatuurverwijzingen bevat lettercodes (tussen [ ]) die aangeven op welke onderwerpen de artikelen betrekking hebben. Bovendien is een cijfercode toegevoegd die het belang van het artikel aangeeft voor dit onderzoek: van matig (0) tot zeer (3) belangrijk. De betekenis van de lettercodes staat in de volgende tabel weergegeven:

code	onderwerp	
w	wortel(teelt)	
b	bewaring	(vernalisatie)
f	forceren	(krop)
i	technische informatie	
x	algemeen	
v	versestof	(produktie)
d	drogestof	(redistributie)
k	koolhydraten	
p	proteinen, aminozuren	
m	mineralen	(voeding)
e	enzymem	
h	hormonen	
l	melksap	(lactucine)
t	transport	
c	compartimentalisatie	
a	ademhaling	
q	morfologie	(kwaliteit)
r	ras	
g	genetica	
z	pathologie, herbiciden	

anon., 1975.  
Chicory. UK, Edinburgh School of Agriculture: Annual report 1974, 174pp.  
[wkh, 1]

Albinsky, H., 1984.  
Untersuchungen zur Ertragsbeeinflussung bei der Treiberei von Chicoree. Gartenbau  
31: 2, 44-45.  
[fxiv, 2]

Arya, P.S., 1987.  
Effect of N, P and K on yield attributes and seed yield in chicory. Annals of Agricultural  
Research 8: 2, 312-315.  
[mx, 1]

- Arya, P.S., P.P. Sharma & M.L. Pandita, 1987.  
Influence of N, P and K on yield contributing components and seed yield in chicory (*Cichorium intybus* L.). *Haryana Journal of Horticultural Sciences* 16: 3-4, 278-286.  
[wmx, 1]
- Baadhio, A.M., 1982.  
Le forçage hydroponique de la chicoree de Bruxelles (*Cichorium intybus* L.). L'influence de la nutrition minérale sur la production de chicons. *Biol.Physiol.Veg., Univ.Paris VII (Mem.D.E.A.)* 44.  
[fmv, 2]
- Backoula, E., B. Fournet, R. Lefebvre, J. Sobaszekiewicz & J. Vasseur, 1984.  
Application de la chromatographie liquide a haute performance a la determination des glucides intratissulaires de la racine de *Cichorium intybus* L. au cours de la production de chicons en forçage hydroponique et de la formation des bourgeons en culture in. *Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences, III Sciences de la Vie* 299: 19, 827-830.  
[fki, 2]
- Backoula, E., R. Lefebvre & J. Vasseur, 1985.  
Modalites d'action du glucose sur le bourgeonnement de petits explantats racinaires de *Cichorium intybus* L. cultives in vitro. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Serie 3 Sciences de la Vie* 301: 13, 639-642.  
[bk, 1]
- Badila, P., M. Lauzac & P. Paulet, 1985.  
The characteristics of light in floral induction in vitro of *Cichorium intybus*. The possible role of phytochrome. *Physiologia Plantarum* 65: 3, 305-309.  
[bx, 1]
- Badila, P., K. Mikou & P. Paulet, 1991.  
Two distinct modes of action of light on the in vitro development of root explants of *Cichorium intybus* L. *Journal of Plant Physiology* 138(4): 370-375.  
[bx, 1]
- Balbua, S.I., A.Y. Zaki, S.M. Abdel-Waheb, E.S.M. El Denshary & M. Motazz-Bellah, 1973.  
Preliminary phytochemical and pharmacological investigations of the roots of different varieties of *Cichorium intybus*. *Planta Medica* 24: 2, 133-144.  
[dxkle, 1]
- Bannerot, H. & B. de Coninck, 1976.  
Heterosis in witloof chicory at the forcing stage. Netherlands, Institute for Horticultural Plant Breeding: Proceedings Eucarpia meeting on leafy vegetables, Wageningen, 15-18 March 1976. I 4-7. Wageningen, Netherlands.  
[fxivq, 1]
- Baret, J.L., M. Leclerc, Y. Gicquiaux, F. Brouard, B. Feng & R. De Baynast, 1989.  
Hydrolyse enzymatique de biomasses non-amylacees pour la production industrielle de sucres. *Industries Alimentaires et Agricoles* 106: 7-8, 621-627.  
[ke, 1]
- Barnes, A., 1979.  
Vegetable plant part relationship. II. A quantitative hypothesis for shoot/storage root development. *Annals of Botany* 43, 487-499.  
[wv, 1]
- Barsy, T. de & R. Bronchart, 1991.  
Ultrastructural study of the brown core of Witloof chicory chicon. *Scientia Horticulturae* 45: 3-4, 191-197.  
[fqxm, 3]

- Becard, G., 1982.  
Variabilite des potentialites de croissance du bourgeon de *Cichorium intybus* L. (endive). Recherche d'une modelisation in vitro. *Physiol.Veg.Appl.*, Univ.Paris VI (Mem.D.E.A.) 71.  
[wlf, 1]
- Beek T.A. van, P. Maas, B.M. King, E. Leclercq, A.G.J. Voragen & A. de Groot, 1990.  
Bitter sesquiterpene lactones from chicory roots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38(4): 1035-1038.  
[lx, 1]
- Bhatia, I.S., S.K. Mann & R. Singh, 1974.  
Biochemical changes in the water-soluble carbohydrates during the development of chicory (*Cichorium intybus* Linn) roots. *Journal of Science Food Agriculture* 25, 535-539.  
[wk, 1]
- Biesheuvel, A.R., 1989.  
Witloof. Nog geen betere vroege rassen dan Flash. *Groenten en Fruit* 44: 32, 76-77.  
[fqr, 1]
- Biesheuvel, A.R., 1989.  
Witloof. Nieuwe rassen voor late trek veelbelovend. *Groenten en Fruit* 44: 34, 60-61.  
[fqr, 1]
- Biesheuvel, A.R., 1989.  
Witlof. Middenvroege witloftrek. Daliva aanbevolen, maar Rinof lijkt nieuwe aanwinst. *Groenten en Fruit* 44: 35, 60-61.  
[frvq, 2]
- Biesheuvel, A.R., 1990.  
Witlof. Rassenkeus voor middenvroege trek een probleem. *Groenten en Fruit* 45: 38, 72-73.  
[frvq, 1]
- Biesheuvel, A.R., 1990.  
Witlof. Hybriden voor late trek sterk verbeterd. *Groenten en Fruit* 45: 39, 62-63.  
[fvqr, 1]
- Biesheuvel, A.R., 1991.  
Onderzoek - chicory. Late hybriden breken definitief door. *Groenten + Fruit, Vollegrondsgroenten* 1: 7, 18-19.  
[fvqr, 1]
- Biesheuvel, A.R., 1991.  
Onderzoek - witlof en roodlof. Warme zomer lijkt nadelig voor Flash. *Groenten + Fruit, Vollegrondsgroenten* 1: 11, 20-21.  
[wxvqr, 1]
- Biesheuvel, A.R., G. Schroen, P. Mantel & H.P. Versluis, 1988.  
Middenvroege trek van witlof: kies geen rassen die gevoelig zijn voor bruine pit!. *Groenten en Fruit* 43: 44, 69, 71.  
[fqr, 1]
- Biesheuvel, A.R. & F. van der Zweep, 1987.  
Doorbraak van witlofhybriden zonder bruine pit. *Groenten en Fruit* 42: 26, 50-51.  
[rq, 1]
- Brunner, M., 1983.  
Forçage de la chicoree Witloof: incidence des apports minéraux. *Revue Horticole Suisse* 56: 12, 368-373.  
[fmvqz, 3]

- Carballido, A. & M.A. Navarro, 1984.  
Micronutrientes en lechuga, escalora y endibia. 1. Contenido vitaminico. *Anales de Bromatologia* 35: 1, 123-134.  
[fvmx, 1]
- Chandorkar, K.R. & F.W. Collins, 1971.  
De novo synthesis of fructooligosacharides in leaf disks of certain Asteraceae. *Canadian Journal of Botany* 50, 295-303.  
[ke, 1]
- Chandorkar, K.R. & F.W. Collins, 1974.  
Enzymological aspects of de novo synthesis of fructooligosacharides in leaf disks of certain Asteraceae IV. The activity of sucrose-sucrose 1-fructosyltransferase. *Canadian Journal of Botany* 52, 1369-1377.  
[ke, 1]
- Cheetham, N.W.H., P. Sirimanne & W. Roy Day, 1981.  
High-performance liquid chromatographic separation of carbohydrate oligomers. *Journal of Chromatography* 207, 439-444.  
[ki, 1]
- Chubey, B.B. & D.G. Dorrell, 1978.  
Total reducing sugar, fructose and glucose concentrations and root yield of two chicory cultivars as affected by irrigation, fertilizer and harvest dates. *Canadian Journal of Plant Science* 58: 3, 789-793.  
[wmkv, 2]
- Claessens, G., A. van Laere & M. de Proft, 1990.  
Purification and properties of an inulinase from chicory roots (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Plant Physiology* 136: 1, 35-39.  
[wbek, 3]
- Coïc, Y. & C. Lesaint, 1975.  
La nutrition minerale et en eau des plantes en horticulture avancee. *Doc.Technique SCPA* 23, 1-22.  
[fm, 2]
- Collins, F.W. & K.R. Chandorkar, 1973.  
De novo synthesis of fructooligosacharides in leaf disks of certain Asteraceae. II. Certain physiological and biochemical changes accompanying fructooligosacharide formation. *Canadian Journal of Botany* 51, 1931-1937.  
[ke, 1]
- Coppens d'Eeckenbrugge, G., P. Dutilleul & J.C. van Herck, 1989.  
A study of fructose yield components in chicory. *Plant Breeding = Zeitschrift fuer Pflanzenzuchtung* 102: 4, 296-301.  
[wkpmr, 1]
- Corey, K.A. & Z.Y. Tan, 1990.  
Induction of changes in internal gas pressure of bulky plant organs by temperature gradients. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 115: 2, 308-312.  
[wxt, 1]
- Cyr, D.R. & J.D. Bewley, 1990.  
Proteins in the roots of the perennial weeds chicory (*Cichorium intybus* L.) and dandelions (*Taraxacum officinale* Weber) are associated with overwintering. *Planta* 182: 3, 370-374.  
[wp, 2]

- Cyr, D.R. & J.D. Bewley, 1990.  
Annual rhythmicity of nitrogen reserves in the roots of pernicious perennial weeds. Monograph British Society for Plant Growth Regulation No. 21, 353-368.  
[wpe, 2]
- Cyr, D.R., J.D. Bewley & E.B. Dumbroff, 1990.  
Seasonal dynamics of carbohydrate and nitrogenous components in the roots of perennial weeds. *Plant, Cell and Environment* 13: 4, 359-365.  
[wdkpm, 3]
- Delegheer, V., W. Degreef, R. Dejaegere & L. Neirinckx, 1980.  
Variation des teneurs en elements minereaux dans les racines et feuilles de chicoree Witloof pendant la periode de forage. *Bulletin de la Societe Royale de Botanique de Belgique* 113: 2, 153-160.  
[wfm, 2]
- Dickerson, A.G. & J. Edelman, 1966.  
The metabolism of fructose polymers in plants. VI. Transfructosylation in living tissue of *Helianthus tuberosus*. *Journal of Experimental Botany* 17: 52, 612-619.  
[wke, 1]
- Dorchies, V. & S. Rambour, 1983.  
Activite de la nitrate reductase mesuree in vivo chez *Cichorium intybus* (var. Witloof) au cours du forage. *Physiologie Vegetale* 21: 4, 705-713.  
[fmp, 3]
- Dorchies, V. & S. Rambour, 1985.  
Activite nitrate reductase chez *Cichorium intybus* (var. Witloof) a differents stades de developpement et dans les tissus cultives in vitro [metabolisme azote; racine, feuille, endive]. *Physiologie Vegetale* 23: 1, 25-35.  
[wmx, 1]
- Dorrell, D.G. & B.B. Chubey, 1977.  
Irrigation, fertilizer, harvest dates and storage effects on the reducing sugar and fructose concentration of Jerusalem artichoke tubers. *Canadian Journal of Plant Science* 57, 591-596.  
[wmxbk, 1]
- Douglas, J.A. & J.T.K. Poll, 1986.  
A preliminary assessment of chicory (*Cichorium intybus*) as an energy crop. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 14: 2, 223-225.  
[wdkr, 1]
- Dubois, J., A. Droujininski & J. Vasseur, 1988.  
Croissance et potentialites organogenes de suspensions cellulaires de *Cichorium intybus* L. var. Witloof. *Bulletin de la Societe Botanique de France, Lettres Botaniques* 135: 4-5, 311-322.  
[xqi, 2]
- Dutilleul, P., G. Coppens d'Eeckenbrugge & J.C. van Herck, 1990.  
Analyse multivariee des parametres lies au rendement en inuline et a la purete de la chicoree industrielle (*Cichorium intybus* L.). *Revue de l'Agriculture Landbouwtijdschrift* 43: 4, 539-547.  
[wdkx, 1]
- Edelman, J. & T.G. Jefford, 1968.  
The mechanism of fructan metabolism in higher plants as exemplified in *Helianthus tuberosus*. *New Phytologist* 67, 517-531.  
[wke, 1]



Eenink, A.H., 1975.

Schietresistentie in witlof. Post, B. P. van der: Some aspects of the breeding of cabbage, onion, carrot and witloof chicory.: Enkele aspecten bij veredeling van kool ui wortel witlof. Zaadbelangen 29: 178.

[bfi, 1]

Embrechts, A.J.M., 1989.

Effect of water loss in chicory roots on forcing yield. Acta Horticulturae No. 258, 513-514.

[bivfq, 1]

Ernst, M. 1989.

Inulin in vegetable plants of the Compositae family. Gartenbauwissenschaft 54(6): 249-252.

[kx, 2]

Fiala, V., J.L. Bomsel, R. Moneger, C. Tesniere & E. Jolivet, 1983.

Composition biochimique et qualite commerciale du chicon d'endive: Influence de l'etat physiologique de la racine et des conditions de forçage. Biennale Internationale de l'Endive 7, g1-g13.

[wbfxq, 1]

Fiala, V. & E. Jolivet, 1976.

Biochemical approach to forcing witloof chicory (*Cichorium intybus* L.) roots by the study of variations in its carbohydrate composition. Proc. Eucarpia 18-31.

[fk, 2]

Fiala, V. & E. Jolivet, 1980.

The aptitude of roots of chicory for chicon production studied by their carbohydrate composition. Scientia Horticulturae 13, 125-134.

[bkfv, 2]

Fiala, V. & E. Jolivet, 1984.

Mise en évidence d'une nouvelle fraction glucidique dans la racine de Chicorée et son évolution au cours de la formation des réserves. Physiologie Végétale 22: 3, 315-321.

[wbk, 3]

Fiala, V., E. Jolivet & B. De Coninck, 1977.

Approche biochimique du forçage de la racine de chicorée witloof (*Cichorium intybus* L.) par l'étude de son métabolisme. Biennale Internationale de l'Endive 4, 129-138.

[wbxk, 1]

Fiala, V., M. H. Valadier & E. Jolivet, 1981.

Utilisation d'un test refractometrique pour determiner l'atitute de la racine de chicoree Witloof (*Cichorium intybus* L.) a produire un chicon de qualite. P.H.M.

(Pepimientes, horticulteurs, maraichers) Revue Horticulture 221, 23-25.

[xkfq, 1]

Fitters, P.F.L., E. Heuvelink, R. Frankhuizen & W.A. Wagenvoort, 1991.

The relationship between carbohydrate concentration in chicory roots and head yield and quality. Gartenbauwissenschaft 56: 2, 49-53.

[kfvq, 3]

Fockedey, J., 1989.

Sweetness and functional food ingredients from chicory. Food Ingredients Europe, conference proceedings 1989, 288-289. Maarssen, Netherlands.

[ki, 1]

- Forbes, J.C. & A.L. Gelman, 1981.  
Copper and other minerals in herbage species and varieties on copper-deficient soils. *Grass and Forage Science* 36: 1, 25-30.  
[wm, 1]
- Forward, D.F. & Steward, 1965.  
The respiration of bulky organs. in: *Plant Physiology IVa*, 311-376.  
[wa, 1]
- Fouldrin, K., A. Limami & T. Lamaze, 1993.  
Calcium (Ca-45) Mobility in Chicory Root (*Cichorium intybus* L.) as Affected by the Anionic Composition of the Nutrient Solution During Forcing. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118(5): 587-592.  
[fmt, 3]
- Franke, M. & M. Lawrence, 1980.  
On the contents of protein and its composition of amino acids in leaves of some medicinal and spice plants, edible as greens [Chicory (*Cichorium intybus* var. *foliosum*), Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*), Spinach (*Spinacia oleracea*), Sa. *Herba Hungarica* 19: 1, 71-82.  
[px, 1]
- Frehner, M., F. Keller & A. Wiemken, 1984.  
Localization of fructan metabolism in the vacuoles isolated from protoplasts of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.). *Journal of Plant Physiology* 116: 3, 197-208.  
[fec, 2]
- Frese, L. & M. Dambroth, 1987.  
Research on the genetic resources of inulin-containing chicory (*Cichorium intybus*). *Plant Breeding* 99: 4, 308-317.  
[wkg, 1]
- Frese, L., M. Dambroth & A. Bramm, 1991.  
Breeding potential of root chicory (*Cichorium intybus* L. var. *sativum*). *Plant Breeding* 106: 2, 107-113.  
[wrck, 1]
- Gaber, C. & H.G. Maier, 1989.  
Acids of the chicory root: I. Changes in the contents of the main acids with different degrees of roast. *Zeitschrift fuer Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 189(5): 443-447.  
[wxi, 1]
- Gaber, C. & H.G. Maier, 1990.  
Acids of the chicory root: II. Changes in the contents of the main acids during wet storage of roasted chicory and during storage of chicory brews at elevated temperatures. *Zeitschrift fuer Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 190(1): 40-43.  
[wxkl, 1]
- Gianquinto, G. & F. Pimpini, 1989.  
The influence of temperature on growth, bolting and yield of chicory cv. Rosso di Chioggia (*Cichorium intybus* L.). *Journal of Horticultural Science* 64: 6, 687-695.  
[wxv, 1]
- Gordon, A.J. & A.E. Flood, 1979.  
Effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on invertases in chicory root. *Phytochemistry* 18: 3, 405-408.  
[hxke, 2]

- Goupy, P.M., P.J.A. Varoquaux, J.J. Nicolas & J.J. Macheix, 1990.  
Identification and localization of hydroxycinnamoyl and flavonol derivatives from endive (*Cichorium endivia* L. cv. Geante Maraichere). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38: 12, 2116-2121.  
[lec, 2]
- Granges, A. & J.P. Ryser, 1981.  
Influence de la fumure azotée au champ sur la production et la qualité des racines, puis sur les rendements et la qualité des forçages de la chicorée endive. *Biennale Internationale de l'Endive (Barendrecht)* 6, 18.  
[wmfq, 1]
- Groenwold, J. & S.C. van de Geijn, 1990.  
Effects of soil temperature on root and shoot development of chicory (*Cichorium intybus* L.). *First Congress of the European Society of Agronomy Session 3* P 19.  
[wx, 1]
- Guedira, M., T. Dubois, T. Dubois & J. Vasseur, 1990.  
Influence du saccharose sur le rendement, la morphologie et le développement des embryons somatiques chez *Cichorium*. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences. Series-3, Sciences de la Vie* 310: 10, 453-459.  
[wxvk, 1]
- Gupta, A.K., N. Kaur & R. Singh, 1989.  
Fructose and inulinase production from waste *Cichorium intybus* roots. *Biological Wastes* 29: 1, 73-77.  
[kei, 2]
- Gupta, A.K., M. Mamta & I.S. Bhatia, 1985.  
Glucofructosan metabolism in *Cichorium intybus* roots. *Phytochemistry* 24: 7, 1423-1427.  
[wbke, 3]
- Gupta, A.K., Mamta, N. Kaur & R. Singh, 1986.  
Fructosan metabolism in *Cichorium intybus* roots. *Phytochemistry* 25: 12, 2765-2768.  
[ke, 3]
- Gupta, A.K., P. Mann, N. Kaur & R. Singh, 1991.  
Profiles of enzymes of sucrose metabolism in the leaves of chicory (*Cichorium intybus*) during development. *Plant Science Limerick* 77: 2, 191-196.  
[wke, 3]
- Gwozdz, E., 1973.  
Effect of IAA on growth, organogenesis and RNA metabolism during the development of *Cichorium intybus* root explants cultured "in vitro". *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 42: 3, 493-506.  
[bh, 1]
- Gwozdz, E., A. Wozny & A. Szweykowska, 1974.  
Induction by auxin of polyribosomes and granular endoplasmic reticulum in the callus tissue of *Cichorium intybus*. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen* 165: 1/2, 82-92.  
[whx, 1]
- Haag, H.P. & K. Minami, 1988.  
Nutricao mineral de hortalias. LXXV. Absorcao de nutrientes pela cultura de almeirao. *Anais da Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz'* 45: 2, 597-603.  
[wm, 2]

- Halmer, P. & J.D. Bewley, 1982.  
Control by external and internal factors over the mobilization of reserve carbohydrates in higher plants. *Encyclopedia of Plant Physiology*. 13A: 21, 749-793.  
[wvx, 2]
- Hee, L. van, 1976.  
Vergelijking van verschillende analysemethoden voor de bepaling van niet-structurele koolhydraten in *Cichorium intybus* L. In: 4th International Colloquium on the Control of Plant Nutrition. *Proceedings* 2, 111-119.  
[ki, 1]
- Hee, L. van, 1990.  
La chicoree a plusieurs facettes. *Betteravies Bruxelles* 24: 252, 7.  
[ki, 1]
- Henson, C.A., 1989.  
Purification and properties of barley stem fructan exohydrolase. *Journal of Plant Physiology* 134: 2, 186-191.  
[ke, 1]
- Herck, J.C. van, G. Coppens d'Eeckenbrugge & P. Dutilleul, 1988.  
Vredeling van fructose, glucose, kalium et alfa-aminozuren in de industriële chicoreiwortel. *Revue de l'Agriculture - Landbouwtijdschrift* 41: 4, 851-862.  
[wdkmpc, 2]
- Hutschenreuter, K. & B. Grosser, 1987.  
Rationelle Technologie bei der Treiberei von Chicoree. *Gartenbau* 34: 7, 201-202.  
[fi, 1]
- Huygens, H., I. Impens & J. Lips, 1983.  
Net CO<sub>2</sub> exchange rates and diffusion resistance of leaves from chicory selections during vegetative growth. *Biologia Plantarum* 25: 6, 419-424.  
[wxr, 1]
- Huygens, H., I. Impens & J. Lips, 1986.  
Seasonal course of leaf photosynthesis and biomass changes in early and late maturing chicory cultivars. *Photosynthetica* 20: 2, 169-172.  
[wdc, 1]
- Iorio, A.F. de & A.E. Rendina, 1988.  
Variacion de la concentracion de fosforo a traves del tiempo en *Cichorium intybus*. *Revista de la Facultad de Agronomia y Veterinaria, Universidad de Buenos Aires (Argentina)* 9: 3, 123-126.  
[wmd, 1]
- Jeurissen, J. & C. van Wijk, 1989.  
Radicchio rosso. Bespuiting met kalksalpeter weinig effectief tegen rand. *Groenten en Fruit* 44: 40, 56-57.  
[wfmq, 1]
- Jolivet, E. & V. Fiala, 1981.  
Utilisation de tests biochimiques pour controler la production du chicon d'endive. *Bulletin des Endiviers* 48, 1-10.  
[bx, 1]
- Jolivet, E. & V. Fiala, 1984.  
Obtention de modifications dans la morphogenese du chicon d'endive apres traitement des racines par des substances chimiques avant leur mise en forçage. (rindite, thiouree, thiocyanate de potassium, hydrazide maleique). P.H.M. (Pepimientes, horticulteurs, maraichers) *Revue Horticole* No.252, 21-25.  
[bhxq, 3]

- Jolivet, E., V. Fiala, J. Laville & J.P. Cochet, 1988.  
Prévention de la coloration brune de l'axe du chicon d'endive par traitement de la racine par une solution de chlorure de calcium. P.H.M. (Pepimientes, horticulteurs, maraichers) Revue Horticulture 283, 33-38.  
[bmfq, 2]
- Jolivet, E., S. Lefevre & B. de Coninck, 1974.  
Détermination de la maturité de la racine de chicorée de Bruxelles à l'aide d'un test biochimique simple. P.H.M. (Pepimientes, horticulteurs, maraichers) Revue Horticulture 149, 97-100.  
[bke, 2]
- Jolivet, E., S. Lefevre & B. de Coninck, 1975.  
Biochemische studie van de rijpheid van de witloofwortel (*Cichorium intybus* L.) ten opzichte van de productie van de witloofkrop. Biennale Internationale de l'Endive 3, jo.1-6.  
[wkfv, 2]
- Jolivet, E., S. Lefevre & B. de Coninck, 1976.  
Détermination de l'état physiologique de la racine tubérisée de C. de B. () par son pouvoir réducteur à l'égard du 2,6-dichlorophenol-indophenol: application au repérage de la période optimale de forçage. Physiologie Végétale 14: 4, 849-863.  
[bxk, 2]
- Jolivet, E., M.Z. Nicol & J.P. Cochet, 1971.  
Mise en évidence, par fixation de  $^{14}\text{CO}_2$  gazeux de modifications dans le métabolisme des acides organiques et des acides aminés libres dans la racine tubérisée de l'endive. Symp. Intern. "La Chicorée de Bruxelles" (Gembloux), sect. hort. Eucarpia 177-206.  
[px, 1]
- Jolivet, E., M.Z. Nicol, S. Willeme-Lefevre & B. de Coninck, 1983.  
Influence de la date de semis sur la production de la racine et du chicon d'endive. Bulletin de Liaison des Endiviers 54, 1-13.  
[wxfv, 1]
- Jolivet, E., S. Willeme-Lefevre & V. Fiala, 1986.  
La perte de l'aptitude de la racine tubérisée de *Cichorium intybus* L. à produire un chicon de qualité s'accompagne de modifications profondes dans son métabolisme. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, III Sciences de la Vie 303: 6, 251-256.  
[bfp, 2]
- Jonkers, J., 1986.  
Vertakking van witlofwortels als gevolg van de toepassing van asulam. Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent 51: 2a, 421-432.  
[wmq, 1]
- Joseph, C., 1986.  
The cytokinins of *Cichorium intybus* L. root: identification and changes during vernalization. Journal of Plant Physiology 124: 3/4, 235-246.  
[bhk, 2]
- Joseph, C., J. Billot & D. Come, 1982.  
Mise en évidence d'un facteur d'inhibition racinale de la floraison de *Cichorium intybus* L. et levée de cette inhibition par le froid. C.R.Acad.Sc. 295, 417-420.  
[bx, 1]
- Joseph, C., J. Billot, P. Soudain & D. Come, 1985.  
The effect of cold, anoxia and ethylene on the flowering ability of buds of *Cichorium intybus*. Physiologia Plantarum 65: 2, 146-150.  
[wbfx, 2]

- Joseph, C. & P. Paulet, 1975.  
Contribution a l'etude vernalisante du froid sur la racine de *Cichorium intybus* L.  
*Physiologie Vegetale* 13: 3, 517-525.  
[bhxi, 1]
- Joseph, C., K.M. Seigneuret, G. Touraud & J. Billot, 1983.  
The free gibberellins of *Cichorium intybus* L. root: identification and changes during vernalization. *Zeitschrift fuer Pflanzenphysiologie* 110: 5, 401-407.  
[wbh, 2]
- Kinet, J.M., P. Lejeune & G. Bernier, 1993.  
Shoot Root Interactions During Floral Transition - A Possible Role for Cytokinins - Review. *Environmental and Experimental Botany* 33(4): 459-469.  
[h, 1]
- Kiya, H., M. Ohara & T. Hisatomi, 1990.  
Simple hydroponic forcing of chicory. *Bulletin of the Nara Agricultural Experiment Station* No. 21, 46-47.  
[fvqm, 1]
- Knobloch, J.W., 1954.  
Developmental anatomy of chicory - the root. *Phytomorphology* 4, 47-54.  
[wq, 1]
- Kruger, J., A. Kopp, O. Lekve & E. Gatzke, 1987.  
Erste Erfahrungen bei der Lagerung von Chicoreewurzeln in Grossmieten mit Mattenbedeckung und Beluftsungsautomatik. *Gartenbau* 34: 8, 235-237.  
[bi, 1]
- Kruistum, G. van, 1981.  
Lucht- en watertemperaturen bij de witloftrek op water. *Groenten en Fruit* 37: 15, 53, 55.  
[fxv, 1]
- Kruistum, G. van, 1988.  
Bruine pit terugdringen door juiste rassenkeus. *Groenten en Fruit* 44: 24, 70-71.  
[fqmr, 1]
- Kumar, A., B.N. Sharma & Y. Paul, 1986.  
Polar lipids of leaves and roots of chicory (*Chicorium intybus*). *Plant Physiology and Biochemistry, India* 13: 1, 1-7.  
[wxk, 1]
- Lancry, M.C. & J.P. Couillerot, 1991.  
Effets de deux sources lumineuses sur la croissance et sur le contenu glucidique et gibberellinique des feuilles de *Cichorium intybus* L. cultive in vitro. *Agronomie* 11: 2, 133-136.  
[wxvkh, 2]
- Laville, J., J.P. Cochet, V. Fiala & E. Jolivet, 1988.  
Endive. Reduction de la coloration brune de l'axe du chicon par le chlorure de calcium. *Infos, Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Legumes, France* No. 38, 9-10.  
[bfmq, 3]
- Leclerc, J., M.J. Reuille, M.L. Miller, J.M. Lefebvre, E. Joliet, N. Autissier, Y. Martinez & A. Perret, 1990.  
Influence des conditions climatiques et de la fertilisation sur quelques aspects de la valeur nutritionnelle de differentes salades cultivees en Bourgogne. *Sciences des Aliments* 10: 3, 633-646.  
[vmx, 1]

- Leclercq, E., 1984.  
Determination of lactucin in roots of chicory (*Cichorium intybus* L.) by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography* 283, 441-444.  
[li, 2]
- Leclercq, E. & J.J. Netjes, 1985.  
Release of sesquiterpene lactones by enzymatic liquefaction of chicory roots. *Zeitschrift fuer Lebensmittel Untersuchung und Forschung* 181: 6, 475-477.  
[wlxe, 1]
- Lefebvre, R., 1978.  
Actions comparees de l'ethylene et de l'ethane sur le bourgeonnement. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, D* 287: 1, 25-27.  
[bhfm, 1]
- Lefebvre, R. & I. Sadki, 1989.  
L'ethylene et la neoformation de bourgeons par des fragments de racine d'endive (*Cichorium intybus* L., cv. Witloof) cultives in vitro. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences. Series-3, Sciences de la Vie* 309: 2, 63-68.  
[wxh, 2]
- Legrand, B., 1975.  
Action du fer et de l'EDTA sur la neoformation des bourgeons par les fragments de feuilles d'endive cultives in vitro. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, D* 280: 19, 2215-2218.  
[bfmi, 1]
- Legrand, B., 1977.  
Action de la lumiere sur les peroxydases et sur la teneur en composes phenoliques de tissus de feuilles de *Cichorium intybus* L. cultives in vitro. *Biologia Plantarum* 19: 1, 27-33.  
[felx, 1]
- Legrand, B. & A. Bouazza, 1991.  
Changes in peroxidase and IAA-oxidase activities during adventitious bud formation from small root explants of *Cichorium intybus* L: influence of glucose. *Journal of Plant Physiology* 138: 1, 102-106.  
[wbxehk, 2]
- Legrand, B., T. Gaspar, C. Penel & H. Greppin, 1976.  
Light and hormonal control of phenolic inhibitors of peroxidase in *Cichorium intybus* L. *Pl. Biochem. J* 3: 2, 119-127.  
[ehl, 1]
- Legrand, M.B., 1974.  
Influence des conditions d'eclaircissement sur la neoformation des bourgeons par les tissus de feuilles d'endive cultives in vitro et sur l'activite peroxydasique de ces tissus. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, D* 278: 19, 2425-2428.  
[bxex, 1]
- Lesaint, C.R., 1981.  
Principe de la methode Coïc et son application pratique. *Acta Horticulturae* 126, 1-8.  
[fm, 1]
- Lesaint, C., R. Grandjean & R. Devendeville, 1982.  
Teneur en nitrates des chicons d'endives en fonctions des differents types de forçage. *Bulletin des Endiviers* 52, 29-31.  
[fm, 1]

- Leteinturier, J., J.P. Cochet, M. Marle & M. Benigni, 1991.  
L'endive. Guide pratique. 271 pp. Paris, France.  
[xi, 1]
- Limami, A., & T. Lamaze, 1991.  
Calcium (calcium-45) accumulation and transport in chicory (*Cichorium intybus* L.) root during bud development (forcing). *Plant and Soil* 138(1): 115-122.  
[fmct, 3]
- Limami, A., & J.M. Machet, 1991.  
Etude des fructosanes et de l'azote en relation avec la maturite et la production de chicons. *Biennale Internationale de l'Endive* 11, A21-A36  
[wkfm]
- Lips, J., W. Cappelle & R. Moermans, 1989.  
Pre-cooling or an artificial stimulation of the maturation process of witloof-roots (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum*) for early forcing. *Acta Horticulturae* No. 258, 503-512.  
[bifv, 1]
- Lips, J., W. Cappelle & R. Moermans, 1989.  
MA storage techniques for long-term storage of endive roots (*Cichorium intybus* L. var. *foliosum*). *Proceedings of the fifth international controlled atmosphere research conference, Wenatchee, Washington, USA, 14-16 June, 1989. Vol. 2* 135-140.  
[bifvq, 1]
- Lips, J. & H. Huygens, 1984.  
Morphological, ecophysiological and assimilation characteristics of *Cichorium intybus* L. cv. *foliosum* with regard to differences between varieties and their maturation. *Proc. Eucarpia* 126-134.  
[bxqa, 1]
- Margara, J., 1973.  
Interaction de facteurs nutritionnels sur l'initiation florale des bourgeons de *Cichorium intybus* L. neoformes in vitro. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, D* 277: 24, 2673-2676.  
[bmxx, 1]
- Margara, J., 1974.  
Sur les conditions de l'evolution, vegetative ou inflorescentielle, des bourgeons neoformes a partir de fragments de hampe florale de *Cichorium intybus* L. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, D* 278: 9, 1195-1198.  
[bkh, 1]
- Margara, J., 1978.  
Mise au point d'une gamme de milieux mineraux pour les conditions de la culture "in vitro". *Comptes Rendus des Seances de l'Academie d'Agriculture de France* 64: 8, 654-661.  
[fmi, 1]
- Martin-Tanguy, J., J. Margara & C. Martin, 1984.  
Phenolamides et induction florale de *Cichorium intybus* dans differentes conditions de culture en serre ou in vitro. *Physiologia Plantarum* 61: 2, 257-262.  
[bph, 1]



Mialoundama, F. & P. Paulet, 1975.

Variations de la teneur en acides chlorogénique et isochlorogénique au cours du traitement de vernalisation des racines de *Cichorium intybus* L., en relation avec leur aptitude à la floraison in vitro. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, D 280: 11, 1385-1387.

[bh, 1]

Mohamed-Yasseen, Y., P. Paulet & W.E. Splittstoesser, 1989.

Changes in IAA, phenolic compounds, diphenyl oxidase, IAA oxidase and peroxidase in relation to flower and root formation of endive in vitro. Proceedings of the Plant Growth Regulator Society of America. 16th Annual Meeting, Arlington, Virginia, USA, 6-10 August 1989, 202-209.

[wbhe, 2]

Mohamed-Yasseen, Y. & W.E. Splittstoesser, 1990.

The relationship of several enzymes with IAA and phenols on flower induction in endive. Plant Growth Regulator Society of America Quarterly 18: 3, 133-139.

[bhex, 2]

Mohamed-Yasseen, Y. & W.E. Splittstoesser, 1990.

Phenolic compounds, oxidative enzymes and their relationship with discoloration in endive (*Cichorium intybus* L.). Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture 34, 79-82.

[leq, 2]

Mohamed-Yasseen, Y. & W.E. Splittstoesser, 1991.

In vitro regeneration of plants from stored Witloof chicory. Plant Growth Regulator Society of America Quarterly 19: 1, 41-45.

[wxh, 1]

Nakanishi, S., 1979.

Peroxydases et bourgeonnement de fragments de racines d'endive (*Cichorium intybus* L.). Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, D 289: 9, 695-698.

[befql, 2]

Nelson, C.J. & D. Smith, 1986.

Fructans: Their nature and occurrence. Current Topics of Plant Biochemistry and Physiology 5, 1-6.

[k, 1]

Nelson, C.J. & W.G. Spollen, 1987.

Fructans. Physiologia Plantarum 71, 512-516.

[k, 1]

Outer, R.W. den, 1989.

Internal browning of witloof chicory (*Cichorium intybus* L.). Journal of Horticultural Science 64: 6, 697-704.

[fqmixb, 3]

Pappiah, C.M., S. Muthuswamy & K.G. Shanmugavelu, 1986.

Studies on the effect of gibberellic acid and vernalisation on chicory (*Chicorium intybus* L.) seed yield. South Indian Horticulture 34: 5, 353-354.

[wbh, 1]

Parmar, S.M.S., S. Taneja, B.L. Jian & D. Williamson, 1983.

Biochemical changes in *Cichorium intybus* infected by *Alternaria cichorii*. Indian Phytopathology 36: 4, 680-682.

[wzkpxh, 1]

- Patel, B.S., T.N. Barevidia, J.C. Patel & N.M. Baldha, 1990.  
Response of chicory to different fertility levels. *Indian Journal of Agronomy* 35: 3, 319-320.  
[wmvd, 2]
- Patel, B.S., T.N. Barevadiah, J.C. Patel & S.G. Sadaria, 1991.  
Effect of FYM, N, P and K application on yield and nutrient uptake by chicory. *Indian Journal of Agronomy* 36: 2, 278-280.  
[wmv, 1]
- Pelleboer, H. & A. Hoogerwerf, 1984.  
Temperatuurschommelingen tijdens bewaren nadelig voor witlofwortels. *Groenten en Fruit* 40: 6, 44-45.  
[bfvq, 1]
- Perschak, F. & L. Wolfslehner, 1990.  
Vorläufige Versuche zur Herstellung eines stark fructosehaltigen Sirups aus Zichorienwurzeln. *Zuckerindustrie* 115: 6, 466-470.  
[wki, 1]
- Phillips, D.E. & P.P. Rutherford, 1976.  
Some enzyme changes in chicory (*Cichorium intybus*) during forcing. *Annals of Applied Biology* 84: 2, 251-257.  
[kewbf, 3]
- Pimpini, F. & G. Gianquinto, 1988.  
The influence of climatic conditions and age of plant at transplanting on bolting and yield of chicory (*Cichorium intybus* L.) cv. Rosso di Chioggia grown for early production. *Acta Horticulturae* No. 229, 379-386.  
[wbi, 1]
- Pinto-Ricardo, C.P., 1983.  
Aspectos da fisiologia do calcio nas plantas. *Garcia de Orta, Estudos Agronomicos* 10: 1/2, 65-75.  
[mtq, 1]
- Pluijmen, M.H.M., 1987.  
Suikeranalyse met HPLC, reductometrische en enzymatische methoden in gewasmonsters. CABO, intern rapport M: 679, 25.  
[ki, 2]
- Pollock, C.J., 1986.  
Fructans and the metabolism of sucrose in vascular plants. *New Phytology* 104: 1, 1-24.  
[k, 1]
- Pontis, H.G., 1990.  
Fructans. in: *Methods in Plant Biochemistry. II. Carbohydrates* 2: 10, 353-369.  
[ki, 1]
- Price, K.R., M.S. DuPont, R. Shepherd, H.W.S. Chan & G.R. Fenwick, 1990.  
Relationship between the chemical and sensory properties of exotic salad crops - coloured lettuce (*Lactuca sativa*) and chicory (*Cichorium intybus*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 53: 2, 185-192.  
[flkxq, 2]
- Proft, M. de, J. de Greef, K. van Nerum & G. Goffings, 1986.  
Ethylene in the production of Belgian endive. *Horticultural Science* 21: 5, 1132-1133.  
[fhv, 2]

- Profumo, P., P. Gastaldo, L. Caffaro, R.M. Dameri, G. Roti-Michelozzi & A. Bennici, 1985.  
Callus induction and plantlet regeneration in *Cichorium intybus* L.: II. Effect of different hormonal treatments. *Protoplasma* 126: 3, 215-220.  
[xh, 1]
- Pronost, Y., 1983.  
L'amertume de *Cichorium intybus* L. Recherche d'un test discriminant. M\_m. fin d'Etudes I.S.A.B. (Beauvais) 96.  
[bx, 1]
- Pyrek, J.S., 1985.  
Sesquiterpene lactones of *Cichorium intybus* and *Leontodon autumnalis*.  
*Phytochemistry* 24: 1, 186-188.  
[lx, 1]
- Reerink, J.A., 1990.  
Redistributie van inhoudstoffen en kwaliteit van de krop bij witlof. in: *Agrobiologische thema's 2: Fysiologie en kwaliteit van tuinbouwprodukten*. H.M. Dekhuizen & S.C. van de Geijn (red.), 15-30.  
[fvdqmpkt, 3]
- Reerink, J.A., 1990.  
Witlof. Fysiologisch onderzoek naar oorzaak kwaliteitsproblemen. *Groenten en Fruit* 46: 4, 46-47.  
[fvdqmpkt, 2]
- Reerink, J.A., 1991.  
Effect van het eiwitgehalte van de witlofwortel op de koolhydraathuishouding tijdens forceren. *Biennale Internationale de l'Endive* 11, A11-A20.  
[fvdqmpkt, 3]
- Reerink, J.A., 1992.  
Stikstof in wortel bepaalt kwaliteit lof. *Groenten en Fruit* 2: 1, 8-10.  
[fvdqmpkt, 2]
- Rees, S.B. & H.B. Harborne, 1985.  
The role of sesquiterpene lactones and phenolics in the chemical defence of the chicory plant. *Phytochemistry* 24: 10, 2225-2231.  
[lz, 1]
- Roelands, C., 1983.  
Bemesting bij de trek op water. *Groenten en Fruit* 39: 16, 72-73.  
[fmi, 1]
- Roggen, H.P.J.R., 1975.  
Een biochemische bepaling ter voorspelling van de trekrijpheid van witlofwortels. Post, B. P. van der: Some aspects of the breeding of cabbage, onion, carrot and witloof chicory.: Enkele aspecten bij veredeling van kool ui wortel witlof. *Zaadbelangen* 29: 178-179.  
[wbke, 2]
- Roggen, H.P.J.R., 1976.  
Prediction of the proper stage of maturity for forcing chicory (*Cichorium intybus* L.) by determination of inulase activity. Netherlands, Institute for Horticultural Plant Breeding: Proceedings Eucarpia meeting on leafy vegetables, Wageningen, 15-18 March 1976. I 29-31. Wageningen, Netherlands.  
[wkei, 3]

- Romero, L.A., O.A. Bruno, J.L. Fossati & O.R. Quaino, 1988.  
Fertilizacion nitrogenada en achicoria (*Cichorium intybus*). Revista Argentina de Produccion Animal 8: 4, 323-329.  
[wmdkp, 2]
- Ruhl, I. & K. Herrmann, 1985.  
Organische Sauren der Gemusearten. 1. Kohllarten, Blatt- und Zwiebelgemuse sowie Mohren und Sellerie. Zeitschrift fur Lebensmittel Untersuchung und Forschung 180: 3, 215-220.  
[x, 1]
- Rutherford, P.P., 1977.  
Changes during prolonged cold storage in the reducing sugars in chicory roots and their effects on the chicons produced after forcing. Journal of Horticultural Science 52: 1, 99-103.  
[bkefv, 3]
- Rutherford, P.P. & A.E. Flood, 1971.  
Seasonal changes in the invertase and hydrolase activities of Jerusalem artichoke. Phytochemistry 10, 953-956.  
[wke, 1]
- Rutherford, P.P. & A.A. Jackson, 1965.  
L'influence du froid sur la dégradation des oligosacharides de fructose dans les racines de chicorée de Bruxelles et l'effet sur la production des chicons. Annals de Gembloux 71, 187-196.  
[bwkfv, 2]
- Rutherford, P.P. & D.E. Phillips, 1971.  
The variation of invertase and hydrolase activities of chicory roots during cold storage and the significance of these changes to chicon development. Symp. Internationale "La Chicorée de Bruxelles" (Gembloux), section horticole d'Eucarpia XVI, 207-216.  
[bkefv, 2]
- Rutherford, P.P. & D.E. Phillips, 1975.  
Carbohydrate changes in chicory during forcing. Journal of Horticultural Science 50, 463-473.  
[fk, 2]
- Rutherford, P.P. & E.W. Weston, 1968.  
Carbohydrate changes during cold storage of some inulin-containing roots and tubers. Phytochemistry 7, 175-180.  
[bwk, 1]
- Sah, R.N., S. Geng, Y.P. Puri & V.E. Rubatzky, 1987.  
Evaluation of four crops for nitrogen utilization and carbohydrate yield. Fertilizer Research 13: 1, 55-70.  
[wkm, 2]
- Salunkhe, D.K. & B.B. Desai, 1988.  
Postharvest biotechnology of sugar crops. 219 pp.  
[wbkix, 1]
- Sarrazyn, R. & L. Bockstaele, 1989.  
Witloof. Overzicht van de opzoekingen 1983-1984, 1984-1985. 435 pp. Beitem Roeselare, Belgium.  
[wbfmvqz, 1]

- Saski, N., J. Dubois, J.L. Millecamps & J. Vasseur, 1986.  
Regeneration de plantes de chicoree Witloof cv. Zoom a partir de protoplastes: influence de la nutrition glucidique et azotee. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, III Sciences de la Vie 302: 5, 165-170.  
[xkpm, 1]
- Sato, M. & M. Hasegawa, 1972.  
Transglucosylases in *Cichorium intybus* converting cichoriin to esculin. Phytochemistry 11: 11, 3149-3156.  
[kxe, 1]
- Schiweck, H., M. Munir, K.M. Rapp, B. Schneider & M. Vogel, 1990.  
New developments in the use of sucrose as an industrial bulk chemical. Zuckerindustrie 115: 7, 555-565.  
[wbkx, 1]
- Schmidtlein, H. & K. Herrmann, 1975.  
Über die Phenolsäuren des Gemüses. 4. Hydroxymyrsäuren und Hydroxybenzoesäuren weiterer Gemüsearten und der Kartoffeln. Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung 159: 5, 255-263.  
[xl, 1]
- Schoofs, J. & E. de Langhe, 1988.  
Chicory (*Cichorium intybus* L.). Biotechnology in agriculture and forestry 6. Crops II [edited by Bajaj, Y. P. S.] 294-321.  
[x, 1]
- Sechley, K.A., A. Oaks & J.D. Bewley, 1991.  
Enzymes of nitrogen assimilation undergo seasonal fluctuations in the roots of the persistent weedy perennial *Cichorium intybus*. Plant Physiology (BETHESDA) 97(1): 322-329.  
[wpce, 3]
- Sene, A., J. Vasseur & R. Lefebvre, 1983.  
Sur l'aptitude de petits explants racinaires de *Cichorium intybus* L. (var. Witloof) a produire des racines adventives en culture in vitro. Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences, III Sciences de la Vie 297: 2, 81-86.  
[wfhx, 2]
- Seto, M., T. Miyase, K. Umehara, A. Ueno, Y. Hirano & N. Otani, 1988.  
Sesquiterpene lactones from *Cichorium endivia* L. and *C. intybus* L. and cytotoxic activity. Chemical and Pharmaceutical Bulletin 36: 7, 2423-2429.  
[lx, 1]
- Shannon, P.R.M., A.E. Flood & R.L. Wain, 1984.  
Auxin-induced cell expansion of potato tuber and chicory root: role of hydroxyproline synthesis. Physiologia Plantarum 62: 2, 201-208.  
[whp, 2]
- Shiomi, N., 1982.  
Studies on fructosyltransferases of roots of asparagus (*Asparagus officinalis* L.). Memoirs Faculty Agriculture, Hokkaido University 13, 242-316.  
[wke, 1]
- Singh, R. & I.S. Bhatia, 1971.  
Isolation and characterization of fructosyl-transferase from chicory roots. Phytochemistry 10:3, 495-502  
[wke]

- Soja, G., E. Haunold & W. Praznik, 1989.  
Translocation of <sup>14</sup>C-assimilates in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.).  
*Journal of Plant Physiology* 134, 218-223.  
[kt, 1]
- Soja, G. (editor), 1992.  
Fruchtanforchung in Osterreich, Deutschland und den Niederlanden. OEFZS Berichte  
No. 4621, IV + 15 pp.  
[kexi, 1]
- Soudain, P., J.P. Cochet & M. Marle, 1985.  
Problemes poses par la conservation de l'endive. *Acta Horticulturae* No. 157, 237-244.  
[bhk, 1]
- Soudain, P., V. Fiala & B. de Coninck, 1981.  
Aspects morphologiques et metaboliques de l'action du froid et de traitements gazeux  
sur le bourgeonnement de la chicoree de Bruxelles. *Biennale Int. de l'Endive* 6, 1-14.  
[bxh, 1]
- Soudain, P., V. Fiala & B. de Coninck, 1983.  
Aspects morphologiques et metaboliques de l'action du froid et de traitements gazeux  
sur le croissance du chicon d'endive. *Bulletin de Liaison des Endiviers* 54, 1-10.  
[bxhfkq, 1]
- Steingröver, E., 1981.  
The relationship between cyanide-resistant root respiration and storage of sugars in the  
taproot in *Daucus carota* L. *Journal of Experimental Botany* 32, 911-919.  
[wka, 1]
- Suhonen, I., 1991.  
Growth, bolting and yield quality of 'radicchio rosso'. *Scientia Horticulturae* 46: 1-2, 25-31.  
[wfvq, 1]
- Tan, Z.Y. & K.A. Corey, 1990.  
Technique for improving marketable yield and quality of hydroponically forced witloof  
chicory. *HortScience* 25: 11, 1396-1398.  
[fvqx, 2]
- Tesniere, C., P. Soudain & B. de Coninck, 1984.  
Pyridine nucleotides, glucose-6-phosphate dehydrogenase activity and bud growth in  
*Cichorium intybus* roots. *Physiologie Vegetale* 22: 4, 447-459.  
[bfeha, 3]
- Tesniere, C. & R. Moneger, 1982.  
Metabolisme energetique et criteres d'appréciation de "l'etat physiologiques" et de la  
"maturite au forçage" des racines d'endives. *Bull.Endiviers* 52, 21-28.  
[bka, 2]
- Titulaer, H.H.H., 1990.  
Lagere stikstofgrens in review bemestingsadvies. *Groenten en fruit* 45: 32, 66-67.  
[wm, 1]
- Vallette, R. & M.Th. Ferauge, 1979.  
La nutrition minerale au cours du forçage de la chicoree de Bruxelles (*Cichorium  
intybus* L.). *Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux* 14: 3,4, 285-300.  
[fm, 1]
- Vantomme, R., R. Sarrazyn, M. Goor, L. Verdonck, K. Kersters & J. de Ley, 1989.  
Bacterial rot of witloof chicory caused by strains of *Erwinia* and *Pseudomonas*:  
symptoms, isolation and characterization. *Journal of Phytopathology* 124: 1-4, 337-365.  
[z, 1]

Vasseur, J., 1979.

Action de l'acide indolyl-acetique, de la kinetine et de l'hydrazide maleique sur la neoformation des bourgeons et la synthese d'ARN observees au cours de la culture in vitro de fragments de feuilles etiolees d'endive. Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, D 289: 2, 93-96.

[bhxf, 1]

Vasseur, J. & R. Bouriquet, 1973.

Interaction de l'hydrazide maleique et des bases pyrimidiques ou puriques sur le bourgeonnement in vitro de fragments de feuilles d'endive. Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences, D 277: 7, 641-644.

[bhx, 1]

Vasseur, J. & J. Dubois, 1985.

Influence de l'alimentation minerale sur la proliferation de petits explantats racinaires de *Cichorium intybus* L. (var. Witloof) cultives in vitro. Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences, III Sciences de la Vie 300: 20, 717-720.

[wmx, 2]

Vasseur, J., R. Lefebvre & E. Backoula, 1986.

Sur la variabilite de la capacite rhizogene d'explantats racinaires de *Cichorium intybus* (var. Witloof) cultives in vitro: influence de la dimension des explantats initiaux et de la duree de conservation des racines au froid. Canadian Journal of Botany 64: 1, 242-246.

[bkh, 2]

Vasseur, J., R. Lefebvre & E. Backoula, 1987.

Evolution des glucides intratissulaires au cours de la neoformation des bourgeons par des explantats racinaires de *Cichorium intybus* cultives in vitro. Physiologia Plantarum 69: 4, 597-601.

[xkh, 3]

Vasseur, J. & V. Roger, 1983.

Syntheses d'acides nucleiques et de proteines au cours de l'initiation de bourgeons adventifs sur des explantats de *Cichorium intybus* cultives in vitro. Physiologia Plantarum 57: 4, 485-491.

[wpg, 1]

Vasseur, J. & A. Sene, 1984.

Influence de quelques regulateurs de croissance sur la proliferation de petits explantats racinaires de *Cichorium intybus* L. (var. Witloof) cultives in vitro. Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences, III Sciences de la Vie 298: 13, 371-374.

[bxhpk, 1]

Vertrees, G.L. & P.G. Mahlberg, 1975.

Nuclei in laticifers of *Cichorium intybus*. Phytomorphology 25: 3, 282-288.

[lq, 1]

Vertrees, G.L. & P.G. Mahlberg, 1978.

Structure and ontogeny of laticifers in *Cichorium intybus* (Compositae). American Journal of Botany 65: 7, 764-771.

[lq, 1]

Vertregt, N. & G. van Kruistum, 1989.

Redistribution of dry matter and carbohydrates in Witloof chicory during forcing. Scientia Horticulturae 39: 4, 271-278.

[fdkw, 3]

Wight, A.W. & P.J. van Niekerk, 1983.

Determination of reducing sugars, sucrose, and inulin in chicory root by high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 31: 2, 282-285.

[ki, 1]

Wijk, C. van & H. Pijnenburg, 1989.

Radicchio rosso. Zorg voor voldoende groei door juiste stikstofbemesting. *Groenten en Fruit* 44: 36, 84-85.

[wmr, 1]

Wilson, K.J., B.H. Petersen & D.D. Biesboer, 1984.

Immunocytochemical identification of laticifers. *Protoplasma* 122: 1/2, 86-90.

[lx, 1]



## Dankwoord

In dit rapport heb ik de resultaten beschreven en besproken van de vele experimenten die in de loop van het onderzoek zijn uitgevoerd.

De uitvoering van de proeven is in 4 pagina's in dit rapport beschreven, maar betrof feitelijk het grootste deel van de vier jaar dat aan dit project is gewerkt. Mijn bedoeling van dit stukje is echter niet om de aandacht te vestigen op de hoeveelheid werk die aan dit rapport is voorafgegaan, maar op degenen die betrokken waren bij de uitvoering van het werk of anderszins hebben bijgedragen aan het voorspoedige verloop van dit project.

Ik maak hier van de gelegenheid gebruik om iedereen die bij dit project betrokken is geweest (en dat gold voor velen niet alleen in de letterlijke zin van het woord) te bedanken voor de grote inzet en interesse.

Het project vond zijn oorsprong al ver voor ik er zelf bij betrokken was. Het werd voorgesteld door Nico Vertregt in samenwerking met Gijs van Kruistum van het PAGV, naar aanleiding van hun voorafgaand onderzoek. Alleen hiervoor ben ik hen natuurlijk al dankbaar. Nico Vertregt heeft mij in hoog tempo ingewijd in de achtergronden van het witlofonderzoek en bleef vervolgens met zijn brede kennis een belangrijk steunpunt voor mij om op terug te vallen, zowel voor organisatorische als inhoudelijke ondersteuning. Gijs van Kruistum heeft er niet alleen voor gezorgd dat altijd op het juiste moment de voor het onderzoek benodigde (veelal grote) partijen wortels beschikbaar waren, maar was vooral verantwoordelijk voor een goede terugkoppeling met de praktijk (onderzoek en bedrijfsleven), wat mij een onmisbaar inzicht heeft opgeleverd in het praktische kader waarin dit onderzoek geplaatst moest worden. Daarnaast vormde zijn rustige houding een belangrijke factor voor het verhogen van mijn stressbestendigheid.

Deze rol was eveneens toebedeeld aan Jacques Davies die vanaf het begin bij het onderzoek betrokken was. Vanaf het moment dat de proeven monsters begonnen op te leveren heeft hij zich met grote inzet gestort op het verbeteren van de methode voor fructaanalyse en vervolgens op het uitvoeren ervan aan de inmiddels onafgebroken stroom van monsters. Daarvoor en ook tijdens latere experimenten had hij er nooit problemen mee het laboratoriumwerk tijdelijk te verruilen voor een helpende hand bij de proefuitvoering.

Het grootste deel van deze proefuitvoering heeft Marjan Wijlhuizen later op zich genomen en dat was alleen mogelijk door met haar zorgvuldige werkwijze en nauwkeurige rapportage, mijn problemen met het uit handen geven van deze werkzaamheden weg te nemen. Met dezelfde nauwgezetheid en veel geduld heeft zij de computerbewerking van ruim 3000 wortel- en kropfoto's verzorgd.

Bij de meest arbeidsintensieve facetten van de proefuitvoering, het inzetten en oogsten, werd de hulp ingeroepen van de proeftechnische dienst. Vooral Johan Derksen, Herman Peeters, Peter van de Glint en Adrie Kooijman hebben hieraan vaak meegewerkt en mij daarbij flink laten zweten door regelmatig het werktempo op te voeren, wat wel tot gevolg had dat vrijwel elke keer de klus in een dag geklaard kon worden.

Vergezeld van de grote hoeveelheden geoogste wortels en kappen heb ik vaak beslag gelegd op veel droogstoofruimte en koffiepauzes van Gert van Harn, William Jacobs, Ton Claassen en Dirk Baggel bij de monsterverwerking, wat tot mijn verbazing nooit gevolgen heeft gehad voor hun gevoel voor humor.

Dat geldt ook voor het chemisch lab, waar geen gedroogd monsters aan voorbij is gegaan en waar men, ondanks de grote werkdruk, toch alle analyseresultaten snel op mijn bureau heeft doen belanden. Vooral Wim Pape is veel geplaagd door mijn verzoek de monsters op stikstofgehalte te analyseren. Het enthousiasme waarmee hij de resultaten persoonlijk kwam brengen

en met de onafgebroken interesse in het doel van de analyses en de betekenis van de resultaten voor het onderzoek is voor mij altijd een grote stimulans geweest om zo snel mogelijk aan de uitwerking te beginnen.

Voor de interpretatie van de resultaten en het opzetten van nieuwe experimenten heb ik veel enthousiaste ideeën mogen ontvangen van Bob Veen, die bovendien ook in de verwezenlijking ervan heeft bijgedragen door zijn eigen proefopstelling te mobiliseren en samen met Guus Broekhuijsen ademhalingsmetingen aan witlofwortels te verrichten.

Gedurende het hele projekt heb ik veel en in vele opzichten steun gehad aan Siebe van de Geijn, door zijn op maat gesneden, helder kritische en persoonlijke wijze van begeleiding, waardoor veel van zijn interpretaties, conclusies en ideeën zo logisch waren dat ze me het gevoel gaven me te moeten schamen dat ik ze nog niet zelf bedacht had. Ik heb dan ook dankbaar en veelvuldig gebruik gemaakt van zijn begeleiding en daardoor zijn agenda nog verder gevuld met besprekingen en bv. de correctie van de vele versies van alle hoofdstukken en paragrafen van dit rapport.

**Bijlage 1: Hoagland voedingsoplossing**

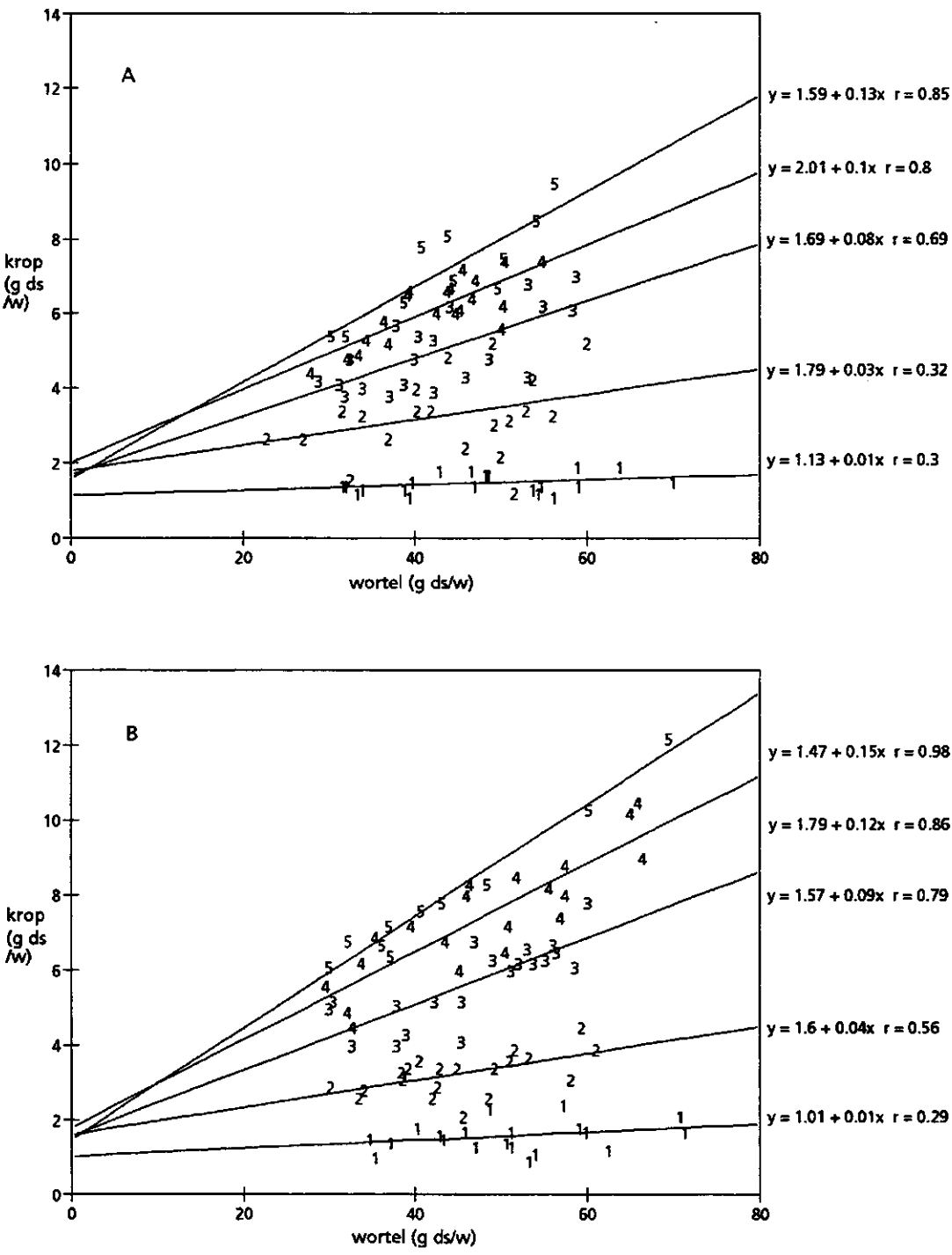
De voedingsoplossing die, al dan niet verdund, gebruikt werd in de experimenten van dit onderzoek was een Hoagland-type oplossing zonder toevoeging van een Fe-EDTA oplossing en bestond uit de volgende macro- en micronutriënten:

component	mM/l	µM/l		mg/l
<i>macro:</i>				
KNO <sub>3</sub>	5			505,6
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	2			492,8
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	5			1180,8
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1			136,0
<i>micro:</i>				
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>		46,1		2,86
MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O		11,1		1,81
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O		0,77		0,22
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O		0,32		0,08
H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O		0,5		0,09

De hierdoor verkregen concentraties van de verschillende kationen en anionen in de onverdunde voedingsoplossing staan hieronder weergegeven:

component	mM/l	µM/l		
<i>macro:</i>				
K <sup>+</sup>	6			
Ca <sup>2+</sup>	5			
Mg <sup>2+</sup>	2			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2			
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1			
<i>micro:</i>				
Mn <sup>2+</sup>		11,1		
Zn <sup>2+</sup>		0,77		
Cu <sup>2+</sup>		0,32		
Cl <sup>-</sup>		22,2		
MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		0,5		
BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>		46,1		

**Bijlage 2: volledige Figuur 3.2.4**



**Figuur 3.2.4.** Kropproductie (drogestof) per wortel bij wortels met een verschillend drooggewicht, en de lineaire relatie (regressie) ertussen, na verschillende perioden van forceren bij 12° C en 1/8 (A) of 1/4 (B) Hoagland; 1, 2, 3, 4 en 5: resp. 10, 15, 20, 24 en 30 dagen forceren